arte e restauro

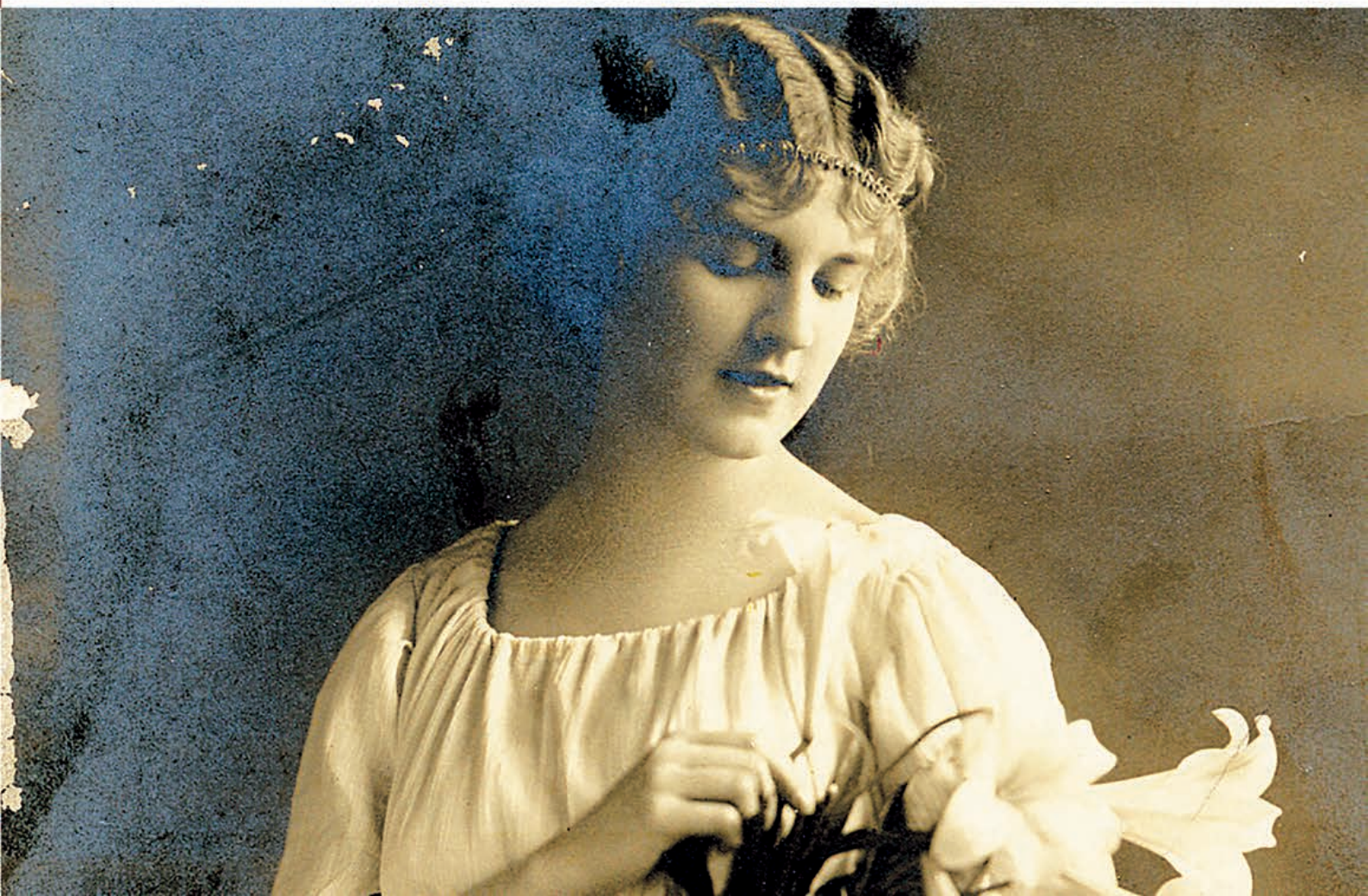
fotografia

COLLEZIONI FOTOGRAFICHE

LA CONSERVAZIONE PREVENTIVA

A cura di **Donatella Matè**

Presentazione di Dusan C. Stulik e Gaël de Guichen



arte e restauro
fotografia

La collana Arte e Restauro

propone monografie, saggi, studi, ricerche, approfondimenti sui temi fondamentali della conservazione e del restauro dei beni culturali in Italia e nel mondo. Da decenni è la principale collana editoriale del settore e oggi vuole rappresentare il più alto livello del dibattito storico e scientifico e del confronto sulle teorie e le tecniche del restauro.
L'ambito Fotografia intende affrontare, con la stessa ampia visione e lo stesso approccio, temi inerenti lo studio e la ricerca su materiali costitutivi, tecniche e pratiche esecutive di conservazione e restauro, durata nel tempo degli interventi realizzati, prevenzione del degrado dei materiali, condizioni di conservazione e di utilizzo, presenza e valorizzazione sul territorio e nei luoghi espositivi di opere significative, anche attraverso il concorso di informazioni storiche e documentarie, accogliendo contributi di carattere multidisciplinare.

La Curatrice e gli Autori di questo volume

Donatella Matè

Biologa, ha lavorato presso il Laboratorio per la conservazione preventiva dell'Istituto Centrale per la Patologia degli Archivi e del Libro (ICPAL) e precedentemente presso il Laboratorio di biologia del Centro di Fotoriproduzione Legatoria e Restauro degli Archivi di Stato (CFLR). Esperta di biodeterioramento e conservazione preventiva dei beni culturali fotografici, insegna, presso la SAF (Scuola di Alta Formazione e Studio) dell'ICPAL, Conservazione preventiva delle fotografie. È autrice di numerose pubblicazioni scientifiche e testi divulgativi su tematiche inerenti i beni fotografici.

Gli Autori

Marianna Adamo, Barbara Cattaneo, Massimo Cristofaro, Federica Delia, Donatella Matè, Alberto Novo, Flavia Pinzari, Luciana Rossi, Maria Carla Sclocchi, Pasquale Trematerra, Elena Verticchio.
(Profilo degli autori a pagina 425)

COLLEZIONI FOTOGRAFICHE
La conservazione preventiva.

a cura di Donatella Matè

Le fotografie, per via della loro natura stratigrafica altamente composita e complessa, sono tra i beni più vulnerabili al deterioramento indotto dall'ambiente di conservazione. A partire dall'ultimo decennio del Novecento, il diffuso e crescente interesse per la fotografia come bene da salvaguardare ha portato a una rapida evoluzione della disciplina della conservazione preventiva dei materiali fotografici, disciplina che si è fatta rapidamente strada nel vasto panorama delle attività conservative (preventive e di intervento), rispetto a quelle meno recenti e ben consolidate riguardanti altri beni storicamente inseriti nel patrimonio culturale. Il presente volume offre una panoramica sullo stato dell'arte del tema della conservazione preventiva dei materiali fotografici, proponendo una rassegna articolata di studi recenti, metodi e strategie sull'argomento.
La trattazione mostra l'evoluzione della pratica conservativa nelle varie tematiche di cui si compone, mettendo in risalto il ruolo della conservazione preventiva e le numerose attenzioni richieste dalle collezioni fotografiche. Gli argomenti sono illustrati ampiamente per agevolare tutti i professionisti che hanno il compito impegnativo di tutelare i beni fotografici all'interno di enti e istituzioni culturali.
Questo volume vuole costituire, inoltre, un supporto per i numerosi collezionisti e appassionati di fotografia che intendono avvicinarsi alla pratica della conservazione preventiva.
L'opera è stata realizzata con il contributo di numerosi Autori, specialisti impegnati da tempo nello studio e nella ricerca per la conservazione dei beni culturali.
Il taglio è volutamente multidisciplinare, affrontando le tematiche specifiche dello studio del microclima, delle problematiche del biodeterioramento e delle tecniche di gestione del rischio.
Numerosi approfondimenti sono dedicati, infine, all'evoluzione della pratica conservativa, all'analisi della qualità dell'aria indoor e dell'impatto della situazione emergenziale (dovuta alla pandemia) su archivi, biblioteche e musei.

Arte e Restauro
Fotografia

A Flora, Manlio e Fabrizio

ISBN 978-88-404-0236-9

Collezioni fotografiche
La conservazione preventiva

a cura di Donatella Matè

© 2022 Nardini Editore, Firenze
www.nardinieditore.it

Impaginazione
Donatella Matè

Riproduzione vietata senza
l'autorizzazione degli autori

In copertina:
Stampa alla gelatina degli anni Venti
con evidente fenomeno di *silver mirroring*.
Visibili anche erosioni imputabili a insetti
deteriogeni (Collezione privata).

COLLEZIONI FOTOGRAFICHE

LA CONSERVAZIONE PREVENTIVA

A cura di
Donatella Matè

Presentazione di
Dusan C. Stulik e Gaël de Guichen

Autori
Marianna Adamo
Barbara Cattaneo
Massimo Cristofaro
Federica Delia
Donatella Matè
Alberto Novo
Flavia Pinzari
Luciana Rossi
Maria Carla Sclocchi
Pasquale Trematerra
Elena Verticchio

NARDINI EDITORE

Indice

Presentazione *Dusan C. Stulik* p. 11

***For future...* la continua sfida della conservazione preventiva** *Gaël de Guichen* p. 13

Introduzione p. 15

1 Aspetti generali di conservazione preventiva
Donatella Matè, Barbara Cattaneo, Luciana Rossi p. 17

1.1 Concetto, definizioni e cenni storici p. 18
1.2 La fotografia come "bene culturale" da conservare p. 30
1.3 Istituzioni per la conservazione delle fotografie p. 33
1.4 Conservazione preventiva di materiale fotografico p. 37
1.5 I professionisti della conservazione p. 44
1.6 La sostenibilità ambientale nella conservazione preventiva p. 47
Note bibliografiche p. 50

2 Natura stratigrafica delle fotografie
Barbara Cattaneo, Donatella Matè p. 55

2.1 Struttura delle fotografie p. 55
2.2 Positivi monocromi e a colori su carta p. 56
2.3 Positivi su metalli, vetro e materie plastiche p. 64
2.4 Negativi su supporti vari p. 68
2.5 Stampe digitali p. 70
2.6 La rinascita dei materiali sensibili a colori p. 73
Note alle immagini p. 74
Note bibliografiche p. 74

3 L'ambiente di conservazione
Luciana Rossi, Donatella Matè p. 77

3.1 Definizione di ambiente di conservazione p. 77
3.2 Requisiti generali p. 79
3.3 Caratteristiche degli ambienti *indoor* p. 86
3.4 Considerazioni sulle tecnologie per la regolazione del microclima p. 90
Note alle immagini p. 93
Note bibliografiche p. 93

4 **Analisi del microclima**
Donatella Matè, *Luciana Rossi*, *Elena Verticchio* p. 97

4.1 Variabili termoigrometriche p. 98
4.2 Interazioni tra variabili termoigrometriche e materiali fotografici p. 104
4.3 Meccanismi di deterioramento e funzioni dose-risposta p. 106
4.4 Monitoraggio termoigrometrico p. 114
4.5 Riferimenti normativi e linee guida sul microclima per la conservazione p. 122
4.6 Determinazione del contenuto di acqua nei materiali p. 132
4.7 Sostenibilità energetica nel controllo del microclima p. 134
4.8 La simulazione dinamica: strumento di conservazione preventiva p. 135
Note alle immagini p. 136
Note bibliografiche p. 137

5 **Le radiazioni luminose**
Donatella Matè, *Luciana Rossi* p. 143

5.1 Radiazioni elettromagnetiche p. 143
5.2 Fotosensibilità correlata ai materiali fotografici p. 146
5.3 Effetti delle radiazioni sui materiali fotografici p. 152
5.4 Misura delle radiazioni p. 156
5.5 Qualità delle radiazioni p. 160
5.6 Le sorgenti luminose p. 161
Note alle immagini p. 166
Note bibliografiche p. 166

6 **Il ruolo della qualità dell'aria *indoor***
Marianna Adamo, *Alberto Novo, Donatella Matè* p. 169

6.1 L'inquinamento *indoor* p. 169
6.2 Ambito normativo specifico p. 170
6.3 Effetti degli inquinanti su materiali e salute (umana) p. 173
6.4 La pericolosità del particolato atmosferico p. 193
6.5 Monitoraggio degli inquinanti chimici p. 195
6.6 Dispositivi di campionamento p. 197
Note alle immagini p. 203
Note bibliografiche p. 203

7 **Bioaerosol e rischi correlati. Il contenimento degli inquinanti**
Marianna Adamo, *Maria Carla Sclocchi, Donatella Matè* p. 209

7.1 Aerosol biologico e problematiche connesse p. 209
7.2 L'impatto sulla salute p. 211
7.3 Monitoraggio microbiologico p. 218

7.4 Identificazione dei microrganismi p. 223
7.5 Strategie di limitazione degli inquinanti p. 225
Note alle immagini p. 232
Note bibliografiche p. 232

8 **Gestione integrata degli organismi infestanti**
Marianna Adamo, Donatella Matè, Massimo Cristofaro, Pasquale Trematerra p. 237

8.1 Organismi infestanti p. 238
8.2 Tipologie di danno p. 241
8.3 Difesa integrata degli infestanti: un approccio sostenibile p. 249
8.4 Gestione delle strutture ambientali p. 252
8.5 Monitoraggio degli infestanti p. 255
8.6 Strategie di intervento p. 258
8.7 L'applicazione della gestione integrata p. 262
Note alle immagini p. 264
Note bibliografiche p. 264

9 **Il danno da microrganismi**
Marianna Adamo, Maria Carla Sclocchi, Donatella Matè p. 269

9.1 Il biodeterioramento: definizioni e cenni storici p. 269
9.2 Caratteristiche generali dei microrganismi p. 273
9.3 Fattori ecologici p. 277
9.4 Meccanismi di danno p. 281
9.5 Manifestazione del danno microbico sui materiali fotografici p. 284
Note alle immagini p. 295
Note bibliografiche p. 295

10 **Strategie di controllo dei biodeteriogeni**
Marianna Adamo, Pasquale Trematerra, Donatella Matè p. 301

10.1 Considerazioni sul contenimento del biodeterioramento p. 301
10.2 Trattamenti e problematiche associate p. 302
10.3 Evoluzione delle metodiche antimicrobiche p. 308
10.4 Analisi dei metodi di controllo p. 313
Note bibliografiche p. 315

11 **Arredi, contenitori e involucri**
Donatella Matè, *Federica Delia* p. 319

11.1 Specifiche per gli arredi p. 320
11.2 Involucri e contenitori: i materiali p. 326
11.3 Tipologie di involucri e contenitori: guida alla scelta p. 335
11.4 Adsorbitori e *scavengers* p. 345
Note alle immagini p. 349
Note bibliografiche p. 349

12 **La conservazione a basse temperature**
Luciana Rossi, Donatella Matè p. 353

12.1 Problematiche relative al deterioramento di supporti plastici p. 353
12.2 Archiviazione per materiali instabili p. 363
12.3 Dispositivi di raffreddamento: il microambiente p. 369
12.4 Celle climatizzate e celle refrigerate/congelate: il macroambiente p. 372
Note alle immagini p. 374
Note bibliografiche p. 375

13 **La gestione del rischio come supporto alla conservazione preventiva**
Elena Verticchio, Donatella Matè p. 379

13.1 Profilo storico della gestione del rischio p. 379
13.2 Modelli di gestione del rischio p. 383
13.3 Gli agenti di deterioramento p. 384
13.4 Il “modello CPRAM” di Waller e il “modello ABC” di Michalski p. 386
13.5 Altri strumenti per la valutazione del rischio p. 392
13.6 I rischi conservativi per i materiali fotografici p. 396
Note alle immagini p. 403
Note bibliografiche p. 403

14 **L’emergenza pandemica: problematiche correlate**
Maria Carla Sclocchi, Donatella Matè, Flavia Pinzari p. 407

14.1 Uno scenario tra passato e presente p. 408
14.2 Revisione della letteratura scientifica: sopravvivenza del virus sulle superfici p. 410
14.3 Prodotti biocidi, procedure e rischi connessi p. 416
14.4 La risposta all’emergenza p. 420
Note bibliografiche p. 421

Profilo Autori p. 425

Ringraziamenti p. 429







Ingrandimenti al microscopio di supporti fotografici con danni di diversa natura. In primo piano lastra di vetro alla gelatina con solubilizzazione del legante per contatto con acqua. In basso a destra emulsione di stampa alla gelatina danneggiata per lo stesso motivo e in basso a sinistra distacchi di emulsione da stampa alla gelatina verniciata.

Presentazione

DUSAN C. STULIK

"*There are more photographs in the world than bricks*"
(John Szarkowski)

Trying to answer the question, "What is photography?" is somewhat tricky because photography is very complex and with many facets ranging from its basis in physics and chemistry to the philosophical aspects of perception and aesthetics.

Since its beginning in the early part of the 19th-century, photography developed from an experimental endeavor into an important image-making tool that has found a broad range of application in almost all various human activities. Trying to speed up image taking, improve image quality, create photographs in color, develop photographs instantaneously in cameras, and improve many aspects of photographic technology, photographers, scientists, and technologists developed more than 130 different photographic processes that had been used experimentally, for a limited time or that developed into standard photographic processes used by millions of people around the globe.

Most photographic negatives or photographs look very simple, and most people who have them in their hands do not realize that they very often deal with extremely complex composite objects consisting of a number of different chemical elements, inorganic and organic compounds, natural and synthetic polymers with a precise and specific role in the photographic process. Some of the most complex photographs, such as color Polaroid type of photographs, consist of more than twenty sometimes sub-micron thick layers of complex chemistry.

It has been estimated that about 1 billion images had been taken in the year 1930. That number increased almost exponentially, peaking around the year 2000 when 86 billion images had been taken using analog photographic processes. At the same time, it has been estimated that less than 0.001% of photographs created during the 20th century has survived till now, and we do not know how many important photographs have been lost due to wars, natural disasters, human neglect, or just due to limited longevity of photographs that had not been well treated or stored. This on its now shows how critically important is the work of all custodians of public or private photographic collections and the work of photograph conservators who can identify different types of photographic processes, recommend the best material and environmental conditions for both long term storage of photographs and pho-

tographic material, and shipment and display of photographs during exhibitions. Well, trained photograph conservators are also needed to document the state of photographs and recommend or perform, if necessary, cleaning or physical restoration and repair of damaged photographs.

The new edition of a very successful 2016 edition of the "Fotografie. Orientamenti per la conservazione" is substantially expanded and reorganized to provide practicing photograph conservators, curators of photographic collections, conservation scientists studying photographs and different aspects of photograph conservation as well as students of art conservation and students specializing in the conservation of photographs with a valuable compendium of different aspects of preventive conservation of photographs and photographic materials.

All chapters of the 2016 edition have been updated based on new research, publication, and newly issued recommendations and standards. Several original chapters that have dealt with multiple subjects have been split into thematically coherent parts to facilitate easier orientation and study. A very welcomed feature of the 2022 edition is a substantial expansion of sections dealing with different aspects of biodegradation of photographs and photographic materials. Custodians of photographic collections will highly appreciate the inclusion of a new chapter dealing with risk management applied to art material and photographs. A very impressive addition to the topics covered in the 2022 edition is a chapter that deals with art conversation issues related to the current COVID-19 pandemic.

Since the origin of photography, about 3.5 Trillion images have been taken using both analog and digital cameras as well as mobile phones. Today every two minutes, more images are taken than all images had been taken during the 19th century, and 91% of these were taken using mobile phones. This makes the work of photograph conservators even more complicated, challenging, and exciting. This also makes this 2022 edition so important for the field of photograph conservation well beyond of borders of Italy.

Dusan C. Stulik PhD

Formerly the Head of the Research in Photographs
Getty Conservation Institute Los Angeles

For future... la continua sfida della conservazione preventiva

GAËL DE GUICHEN

Conservare gli elementi del patrimonio culturale, mobili o immobili, è una delle missioni fondamentali dei professionisti operanti in archivi, biblioteche, musei o presso siti archeologici e monumenti. Grazie a questo impegno può essere assicurata la trasmissione del patrimonio alle generazioni future, garantendone oltremodo l'accessibilità.

La nozione di conservazione si è evoluta notevolmente negli ultimi quaranta anni. L'influenza delle condizioni ambientali sui materiali era certamente conosciuta ai curatori dei vari enti o istituzioni culturali, ma la formazione professionale era tale da concepire la conservazione principalmente come curativa.

Solo agli inizi degli anni Ottanta dello scorso secolo, infatti, prende forma la nozione di conservazione preventiva che va ad aggiungersi ai concetti di conservazione e di restauro. Essa si fonda innanzitutto sul ragionamento che il restauro ha sicuramente un costo e che ogni bene restaurato non potrà mai essere riportato alla sua originale integrità, ma si fonda anche sul principio che prevenire consente di evitare azioni curative purtroppo a volte dannose.

Il nuovo concetto di conservazione preventiva richiede un cambiamento notevole di mentalità:

Chi pensava prima oggetto, deve pensare collezione.
Chi pensava prima sala, deve pensare edificio intero.
Chi pensava prima individuo, deve pensare équipe.
Chi pensava prima a corto termine, deve pensare a lungo termine.
Chi pensava prima professionisti, deve pensare pubblico.
Chi pensava prima segreto, deve pensare comunicazione.
Chi pensava prima "Come?", deve pensare "Perché?".

Questo concetto si è diffuso a poco a poco ed ha portato alla consapevolezza tutte le istituzioni responsabili del patrimonio. Si tratta di un approccio metodico e globale le cui azioni ruotano attorno a quattro temi: essere consapevoli, conoscere, pianificare, eseguire e controllare regolarmente.

Nel rispetto di una corretta azione di conservazione preventiva è fondamentale comprendere appieno quali siano i processi degradativi a cui un bene culturale andrà incontro nel futuro; su questa base la disciplina della conservazione preventiva deve tenere conto in modo globale di tutti i parametri naturali, materiali e derivanti dall'azione dell'uomo che possono intervenire. Sono le azioni indirette sui materiali quelle che consentono di creare le condizioni ot-

timali per una corretta conservazione preventiva, tenendo conto della loro fruizione.

L'introduzione della conservazione preventiva ha generato un cambiamento nella formazione dei professionisti (corsi, master, dottorati, pubblicazioni, conferenze specifiche ecc.), nella gestione amministrativa (posti, dipartimenti nelle istituzioni ecc.) e felicemente nella pratica.

Purtroppo la tutela delle collezioni, comprese quelle fotografiche, sta diventando sempre più difficile per la mancanza di risorse economiche. Si deve considerare la pratica della conservazione preventiva come un processo "in divenire" che porta a continue riflessioni e soprattutto che porta ad un impegno nel riconsiderare pratiche e soluzioni tradizionali le quali non si rivelano più vincenti.

Oggi l'imperativo è quello di riflettere sui modelli di gestione e funzionamento attuati e praticare una conservazione preventiva che rispetti appieno il principio della sostenibilità in tutti i suoi aspetti. Solo riconoscendo la relazione che esiste tra conservazione e sostenibilità si può contribuire alla realizzazione di un'ecologia culturale che, con le problematiche attuali, è l'unica via da seguire.

La sfida della conservazione preventiva del patrimonio culturale è identica a quella del patrimonio naturale in generale ed implica un cambiamento di mentalità e un grande sforzo e questo momento ne è un esempio; tutti i governi, infatti, sono impegnati a prendere misure senza precedenti nel combattere una delle più grandi battaglie della storia per tutelare la vita delle persone e del pianeta.

Gaël de Guichen

Advisor to the General Director of the
International Centre for the Study of the Conservation and
Restoration of Cultural Property (ICCROM)

Introduzione

Il presente testo tratta di fotografie e di conservazione preventiva. Dall'ultimo decennio del Novecento, il diffuso e crescente interesse per la fotografia come bene da salvaguardare ha portato ad una rapida evoluzione della disciplina della conservazione preventiva dei materiali fotografici, disciplina che si è fatta rapidamente strada nel vasto panorama delle attività conservative, preventive e di intervento, rispetto a quelle meno recenti e ben consolidate riguardanti altri beni storicamente inseriti nel patrimonio culturale.

Questa nuova edizione, rivista, aggiornata e ampliata nelle varie tematiche che connotano l'evoluzione della pratica conservativa, vuole dare un maggiore risalto alla conservazione preventiva e alle numerose attenzioni che una collezione fotografica richiede.

Una revisione voluta, che tiene conto dell'esigenza di mantenersi al passo con i tempi.

Gli argomenti sono stati trattati ampiamente per agevolare quanti operano all'interno di enti e istituzioni pubbliche e private con l'impegnativo compito di tutelare i beni fotografici. Il presente volume vuole costituire anche un supporto per i numerosi collezionisti o i semplici appassionati che, per la prima volta, vogliono avvicinarsi alla pratica della conservazione preventiva.

L'opera è stata realizzata con il contributo di differenti Autori, specialisti impegnati da tempo nello studio e nella ricerca della conservazione dei beni culturali.

1 Aspetti generali di conservazione preventiva

Donatella Matè, Barbara Cattaneo, Luciana Rossi

"*La conservation: l'avenir du passé*"
(Philip R. Ward)

Il nostro patrimonio culturale non è destinato a durare in eterno, il naturale invecchiamento non è il solo motivo dell'inesorabile deterioramento, altre cause (inadeguate condizioni ambientali, alloggiamenti in contenitori e involucri non idonei, incuria, interventi sbagliati, manipolazioni e movimentazioni errate, accessi incontrollati, atti di vandalismo, scavi clandestini, terremoti, inondazioni ecc.), possono creare, infatti, situazioni di rischio e innescare e/o accelerare reazioni di degradazione le cui conseguenze possono evidenziarsi sia nell'immediato sia più subdolamente a lungo termine con effetti spesso sinergici e cumulativi[1].

Philip R. Ward, direttore dei servizi di conservazione dell'Institut Canadien de Conservation di Ottawa, intitolava così nel 1982 la presentazione del primo numero del XXXIV volume della rivista "Museum" racchiudendo in tre parole il fine ultimo e il senso stesso della conservazione: «[…] dare alle testimonianze aventi valore di civiltà, che il passato ci ha lasciato, la possibilità di sopravvivere per le generazioni future […]», partendo dalla definizione proposta dalla Commissione Franceschini istituita con legge n. 310 del 26 aprile 1964, su proposta del Ministero della Pubblica Istruzione. La Commissione, per la prima volta in Italia, ha definito e diffuso la nozione di "bene culturale come testimonianza avente valore di civiltà" e ha proposto la creazione di una Amministrazione autonoma dei beni culturali.

Il patrimonio culturale è stato esposto in modo progressivamente crescente a fenomeni dovuti a radicali mutamenti dell'*habitat*, indotti principalmente dall'attività antropica. Questi mutamenti hanno trasformato l'ambiente in uno dei principali fattori di distruzione tanto che i beni sopravvissuti, conservatisi per secoli, sono oggi in serio pericolo.

Già nel 1982, Gaël de Guichen (dal 1969 presso l'International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property – ICCROM, con sede a Roma, e oggi *advisor* per tale organizzazione nonché membro per la Commissione tematica Conservazione di ICOM Italia), professionista impegnato da sempre nelle più importanti campagne di conservazione preventiva, scriveva[2]:

> «[…] ma, se ovunque i movimenti ecologici lavorano per evitare un disastro che si annuncia, per modificare le mentalità e ricevere anche un appoggio del pubblico, niente di simile sembra disegnarsi per la protezione del patrimonio culturale […]».

Sembra che solo al verificarsi di eventi catastrofici, come i recenti terremoti o i crolli avvenuti in famosi siti archeologici, il problema della conservazione e della salvaguardia del patrimonio culturale più ricco al mondo sia posto al centro dell'attenzione dei governi e dell'opinione pubblica.

Fortunatamente questi stessi ultimi cinquant'anni sono stati anche lo scenario di grandi e importanti conquiste nel campo delle ricerche e delle co-

noscenze sul deterioramento dei materiali, sia per quanto attiene alle cause che lo inducono, sia ai meccanismi che intervengono, sia ai rimedi praticabili. Queste nuove competenze hanno dato vita alla disciplina della conservazione preventiva dei beni culturali il cui scopo è quello di aumentarne l'aspettativa di vita[3].

1.1 Concetto, definizioni e cenni storici

La conservazione consiste in un complesso di attività organizzate e programmate aventi lo scopo di limitare il più possibile le situazioni di rischio, rallentando i processi di degradazione a carico del patrimonio culturale per prolungarne la durata. Nell'attività di conservazione[4] si possono definire l'ambito della conservazione preventiva e quello della conservazione curativa, per la cui terminologia si può fare riferimento a quella ratificata alla XXII Assemblea Generale dell'ICOM, Shangai 2010 (frutto di un lavoro multidisciplinare e internazionale presentato per la prima volta alla XV Conferenza triennale dell'ICOM-CC a New Delhi, 22–26 settembre 2008). Come specifica infatti de Guichen nel 2012: «[…] *comme il n'existait pas de définitions "officielles", nous nous sommes mis d'accord sur ce que signifiaient ces mots pour notre groupe* […]», tradotto dagli autori come: «[…] dato che non esistevano definizioni "ufficiali", ci siamo accordati su ciò che queste parole significavano per il nostro gruppo […]».

La terminologia della conservazione del patrimonio culturale materiale adottata a livello internazionale, si attiene a quella, recentemente delineata, contenuta nel documento "ICOM Terminology – Commissione Conservazione" (a cura del Gruppo Terminologia della Commissione Conservazione ICOM Italia)[5]. Le definizioni adottate per la conservazione curativa/*remedial conservation* e la conservazione preventiva/*preventive conservation* sono le seguenti:

> «Conservazione curativa – l'insieme delle azioni realizzate direttamente su un oggetto o su un insieme di oggetti, dirette ad arrestare un processo di degrado o a rafforzarli strutturalmente. Queste azioni sono attuate solo quando gli oggetti si trovino in una condizione di tale fragilità o di deterioramento da correre il rischio di una loro perdita a breve termine. Queste azioni modificano a volte l'aspetto degli oggetti.
>
> Conservazione preventiva – L'insieme delle misure e delle azioni dirette a evitare o ridurre al minimo i futuri deterioramenti o perdite. Queste misure e azioni interessano il contesto o l'ambiente dell'oggetto – più di frequente un insieme di oggetti – quali che siano la loro età e il loro stato. Trattandosi di misure e azioni indirette, non interferiscono con i materiali e la struttura degli oggetti e non ne modificano l'aspetto.»

Nella legislazione italiana con il "Codice dei beni culturali e del paesaggio", D.Lgs n. 42/2004[6], la conservazione – che rientra nel più ampio settore della tutela del patrimonio culturale (specifica competenza dell'allora Ministero per i Beni e le Attività Culturali) –, è posta tra le primarie attività istituzionali e governata attraverso strumenti culturali e normativi di definizioni di linee guida, norme tecniche, criteri e modelli di intervento.

Uno sguardo al passato La salvaguardia del patrimonio culturale italiano ha radici molto antiche, precedenti la definizione stessa del termine patrimonio; essa deve la propria ragion d'essere nella necessità di difendere

la memoria passata del popolo rappresentata dall'insieme di beni che, per la loro particolare importanza storica, culturale o paesaggistica, sono di pubblico interesse e di cui tutti possono godere. Nell'Italia preunitaria un atteggiamento consapevole verso la protezione e la conservazione dei monumenti e dei beni della cultura e della memoria iniziò a manifestarsi già dalla fine del Quattrocento tramite le bolle pontificie che, seppur con efficacia piuttosto limitata e in maniera frammentaria, esortavano a proteggere ruderi e monumenti da spoliazioni, saccheggi, reimpieghi e a valorizzare le antiche vestigia. Si dovranno attendere gli editti dei cardinali Doria (1802) e Pacca (1820) perché la protezione del patrimonio fosse formalmente definita, venissero individuati i beni oggetto della tutela e istituito l'organismo, composto da tecnici ed esperti, che se ne sarebbe dovuto occupare[7].

La sistemazione della materia dei beni culturali trova le sue origini nella legislazione degli Stati preunitari, i quali avevano stabilito regole sulla circolazione e sulla conservazione delle cose d'arte e di storia, anche se ancora non si era sviluppata pienamente l'idea di protezione di un "patrimonio collettivo". Dopo l'Unità d'Italia, nel 1861, era stato mantenuto pressoché inalterato l'impianto normativo degli Stati preunitari, per quanto riguardava la materia della tutela dei beni culturali. Essa assumerà un assetto giuridico solo nel Novecento con le leggi Rosadi n. 364/1909 (detta "legge Rosadi-Rava", ripropose i provvedimenti relativi alle opere di interesse storico-artistico-architettonico già decretati nell'editto Pacca) e Bottai (dal nome dell'allora ministro della cultura Giuseppe Bottai) n. 1089/1939 ("Tutela delle cose di interesse artistico e storico") e n. 1497/1939 ("Protezione delle bellezze naturali"). Oggetto della tutela sono "le cose di interesse artistico e storico" individuate tra "le cose immobili e mobili che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnografico, le cose che interessano la paleontologia, la preistoria, le primitive civiltà e quelle di interesse numismatico, i manoscritti, gli autografi, i carteggi, i documenti notevoli, gli incunaboli, i libri, le stampe e le incisioni con qualità di rarità e pregio"[8]. Nelle intenzioni di Bottai il patrimonio storico, artistico, culturale e ambientale è il centro intorno a cui si costruisce e si raccoglie l'identità e l'unità di un popolo.

Per la prima volta nella legge del '39 le opere dirette sul bene sono definite come quelle "necessarie per assicurare la conservazione ed impedire il deterioramento" (art. 14) e, sebbene non sia ancora superata l'impostazione del singolo intervento isolato (sull'opera), c'è un primo timido avvicinamento al concetto di conservazione. Viene in tal modo prodotto un autentico complessivo programma di politica della cultura.

Durante gli anni Sessanta, in Italia, il concetto di "bene culturale" viene rinnovato grazie al lavoro di alcune commissioni parlamentari, prima delle quali la Commissione Franceschini (citata nell'introduzione del capitolo), formata da politici e studiosi a cui era affidato l'arduo compito di svolgere una completa indagine sull'intera problematica dei beni culturali, nonché di definire proposte di legge per la valorizzazione e la tutela degli stessi. La Commissione dopo un lavoro di due anni pubblicò un documento in tre volumi intitolato "Per la salvezza dei beni culturali in Italia", in cui tracciava tutta la gamma dei beni culturali.

Il concetto di patrimonio si delineerà in maniera compiuta solo nel "Testo Unico" del 1999[9] (166 articoli in cui viene riunita tutta la legislazione in materia di beni culturali e ambientali, comprese le leggi del 1939 che automaticamente decadono) e soprattutto nel Codice del 2004 (con un ulteriore riordino degli interventi legislativi) che, all'art. 29, definisce la conservazione

come: «1. La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studi, prevenzione, manutenzione e restauro». Essa ha dunque carattere di generalità essendo riferita ad ogni categoria di bene culturale e alle diverse azioni che comprende[10], e cioè:

- prevenzione – complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto;
- manutenzione – complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti;
- restauro – intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale e al recupero del bene medesimo, alla protezione e alla trasmissione dei suoi valori culturali. Il restauro va dunque a inquadrarsi come una parte dell'attività di conservazione programmata. Esso si compie su singoli manufatti attraverso un complesso di operazioni volte a recuperare, per quanto possibile, il bene nella sua interezza e la leggibilità compromessa dalle alterazioni sopravvenute nel tempo[11].

Queste disposizioni profondamente innovative hanno accolto le istanze da tempo sentite sulla necessità di mettere ordine in una nuova disciplina i cui confini e ambiti risultavano spesso privi di chiarezza. In particolare i termini restauro e conservazione erano utilizzati a volte indifferentemente in modo alternativo. Che l'esigenza di definire termini, soggetti e contenuti fosse sentita, emerge anche dalle numerose "Carte del restauro" elaborate nel tempo, a partire dalla "Carta di Atene" del 1931, seguita dalla "Carta Italiana del restauro" del 1932, da quella "di Venezia" del 1964, poi dalla "Carta Italiana del Restauro" del 1972 fino alla "Carta della conservazione e del restauro degli oggetti d'arte e di cultura" del 1987. In quest'ultima si afferma chiaramente che i provvedimenti di conservazione non debbano riguardare soltanto la salvaguardia dell'oggetto singolo e dell'insieme degli oggetti considerati significativi, ma anche le condizioni del contesto ambientale, intervenendo direttamente sull'opera ai fini di arrestare per quanto possibile danni e deterioramento rispettando la fisionomia dell'oggetto. La Carta del 1987 propone anche una definizione di terminologie specifiche in ambito conservativo[12]. In particolare la conservazione viene così definita: «[…] l'insieme degli atti di prevenzione e salvaguardia rivolti ad assicurare una durata tendenzialmente illimitata alla configurazione materiale dell'oggetto considerato». La prevenzione è indicata, invece, come: «[…] l'insieme degli atti di conservazione, motivati da conoscenze predittive al più lungo termine possibile, sull'oggetto considerato e sulle condizioni del suo contesto ambientale», collegando finalmente i due concetti al prolungamento dell'aspettativa di vita delle opere.

Tali documenti, certamente coerenti con l'evoluzione dei principi e delle metodologie nei contesti temporali in cui sono stati elaborati, hanno il merito di aver introdotto nozioni come quelle di manutenzione, conservazione ed eccezionalità delle opere di restauro, di aver proposto criteri d'intervento e individuato le operazioni ammissibili o da escludersi per "contrastare o quantomeno rallentare distruzione, dispersione e degrado con ogni accorgimento di conservazione"[13]. Il legislatore ha dunque impiegato oltre mezzo secolo per dare contenuti e applicazione ai concetti di conservazione e di

prevenzione, questioni aperte e affrontate da tempo nel mondo degli addetti ai lavori.

Gli anni Trenta del Novecento, oltre alla prima legge organica in materia di tutela delle cose di interesse artistico e storico, hanno visto nascere i due principali organi di riferimento in Italia per quanto attiene alle problematiche sulla conservazione: l'Istituto di Patologia del Libro – IPL e l'Istituto Centrale del Restauro – ICR, fondati rispettivamente da Alfonso Gallo e da Cesare Brandi (esattamente le denominazioni iniziali erano: "Regio Istituto di Patologia del Libro" e "Regio Istituto del Restauro" perdendo dopo la proclamazione della Repubblica tale aggettivi).

Alfonso Gallo, interessato per i suoi studi in paleografia al campo del restauro e della conservazione documentale, aveva individuato che i materiali librari possono essere afflitti da vere e propie patologie e che si devono ricercare metodi adeguati per prevenirle e combatterle. Aveva capito inoltre che era di fondamentale importanza l'apertura alle competenze proprie di altre discipline, quali la biologia, la chimica, la fisica e le nuove tecnologie. Del resto già la Conferenza di San Gallo (Svizzera) del 1898, primo incontro internazionale sulla conservazione e il restauro dei manoscritti — su iniziativa di Padre Ehrle e presieduta da Theodor Mommsen, uno tra i più grandi classicisti del XIX secolo — aveva messo in evidenza che non vi era un adeguato interesse per il restauro da parte degli amministratori delle biblioteche. Gallo elaborò quindi il progetto di un centro di ricerca dotato di laboratori alla stregua di una "clinica medica". Nel 1929, sotto l'egida del Ministro per l'Educazione Nazionale, Bottai, e con il sostegno dell'Accademia dei Lincei, riuscì a istituire presso l'Abbazia greca di Grottaferrata "un'officina del restauro", nucleo originario del futuro IPL. L'Istituto, che nacque con Regio Decreto 23 giugno 1938–XVI, n. 1038, è dedicato dunque allo[14]:

> «[…] studio dei problemi inerenti la struttura, la genesi e le alterazioni delle materie librarie […] in cui si compiono ricerche sui mezzi di prevenzione e lotta contro gli agenti biologici o fisici che producono quei danni […] e si eseguono restauri e riproduzioni di materiale bibliografico con l'ausilio dei più progrediti mezzi tecnici».

Esattamente il Regio Decreto 16 settembre 1940, n. 1444, Nuovo ordinamento del Regio Istituto di Patologia del Libro in Roma, all'art. 1, recita:

> «Il Regio istituto di patologia del libro ha lo scopo: «a) di studiare le materie librarie ed in genere i processi di fabbricazione del libro; b) di studiare la natura, l'origine e la genesi delle alterazioni fisiche e biologiche che colpiscono le materie librarie; c) di studiare adeguati mezzi di prevenzione e di lotta tanto nei casi particolari quanto nella profilassi e nel risanamento dei depositi librari; d) di eseguire, a scopo di studio e con l'ausilio di mezzi sperimentali, il restauro di materiale bibliografico, con particolare riguardo a quello raro e di pregio.»

Fin dall'inizio l'Istituto si contraddistinse quindi per l'approccio interdisciplinare impiegato, infatti era dotato di laboratori di chimica, biologia, fisica, tecnologia del libro, bibliologia, restauro e fotografia, nonché di una biblioteca, di una fototeca, di una cartiera, di una stamperia e di un museo. Si trattava di un istituto scientifico di ricerca, creato per impartire direttive sui procedimenti di conservazione e restauro dei libri. È evidente nella missione dell'Istituto il deciso orientamento verso la prevenzione, cioè la lotta alle cause del deterioramento attraverso rigorosi studi, sperimentazioni e indagini scientifiche[15].

Gallo dunque si attestò come precursore nel campo della prevenzione prima ancora che della terapia; infatti il progetto per la creazione di un'istituzione, che si occupasse dello studio del libro quale entità fisica (struttura, alterazioni e prevenzione dei danni), è emblematico del suo intento innovativo. Nacque così l'interesse per l'integrità e la conservazione dei libri e per il problema assai complesso del restauro, realizzato fino a quel momento in maniera artigianale ed empirica. È grazie anche a Gallo se l'Italia, nel panorama internazionale, è riuscita a rivestire un ruolo preponderante nella ricerca e nella elaborazione di metodologie e tecniche relative alla conservazione e al restauro dei beni librari.

Il secondo prestigioso Istituto, fondato da Brandi, nacque nel 1939 con Legge 22 luglio 1939, n. 1240, pubblicata sulla Gazzetta ufficiale n. 205 del 2 settembre 1939, su progetto redatto da Giulio Carlo Argan e su iniziativa del Ministero dell'Educazione Nazionale (dicastero del Governo italiano istituito dal Governo Mussolini nel 1929 e soppresso nel 1944). L'Istituto Centrale del Restauro iniziò l'attività il 18 ottobre 1941, quando fu inaugurato dal ministro Bottai. È specializzato nel campo del restauro e della conservazione del patrimonio culturale per rispondere all'esigenza di impostare l'attività di restauro su basi scientifiche e di unificare le metodologie di intervento sulle opere d'arte e i reperti archeologici. Brandi nel 1956, nell'universalmente nota "Teoria del restauro"[16], introduce il concetto di "restauro preventivo" nei seguenti termini:

> «[…] le misure di prevenzione implicite nel concetto di restauro preventivo, non sono spesso di minore entità […]. Ragione di più per affermare la perentoria necessità di codeste misure e spese, in conflitto con la mentalità corrente che vorrebbe ridursi agli interventi di estrema urgenza, di indilazionabile emergenza. Il restauro preventivo è anche più imperativo se non più necessario, di quello di estrema urgenza, perché è volto ad impedire quest'ultimo, il quale difficilmente potrà realizzarsi con un salvataggio completo dell'opera d'arte. Se dunque si concorda in questa visione del restauro, è chiaro come il massimo impegno della persona o dell'Ente a cui è affidata l'opera d'arte debba in primo luogo concentrarsi sul restauro preventivo inteso come tutela, rimozione di pericoli e assicurazione di condizioni favorevoli».

In tali lungimiranti parole il restauro assume definizioni e contenuti nuovi che racchiudono quei concetti di conservazione preventiva i quali saranno teorizzati e sviluppati solo molto tempo dopo[17]. L'opera di Brandi, come noto, ha influenzato la scienza e la metodologia della conservazione e del restauro in Italia e nel mondo.

La notorietà di questi due organi del Ministero, sin dalla loro fondazione, supera i confini nazionali come ampiamente dimostrato dalle numerose attività intraprese e dai successi conseguiti nel tempo.

L'altro Istituto che si occupa di conservazione e restauro è l'Opificio delle Pietre Dure che nacque nel 1588 a Firenze con Ferdinando I de' Medici come manifattura granducale per la lavorazione di opere d'arte realizzate in pietre dure. L'OPD negli ultimi decenni del secolo XIX ha ampliato la propria competenza verso materiali affini. In seguito all'alluvione del 1966 e alla legge istitutiva del Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali del 1975 (D.L. 14 dicembre 1974, n. 657 – L. 29 gennaio 1975, n. 5, su iniziativa del senatore Giovanni Spadolini che ne fu anche il primo ministro), l'Opificio e il Gabinetto Restauri della Soprintendenza delle Belle Arti di Firenze (nato nel 1932) sono stati fusi a creare l'attuale Istituto, la cui attività è articolata in diversi settori di restauro e di ricerca individuati in base ai materiali costitutivi delle opere

d'arte. L'Istituto, nel tempo, ha ampliato le proprie competenze con il Laboratorio Scientifico e il Settore di Climatologia e Conservazione Preventiva che operano nel campo della diagnostica scientifica e della ricerca.

Gli anni Trenta, anche negli altri paesi, rappresentarono un momento di grande fervore in quanto si cercò di definire come l'ambiente museale poteva essere impostato per conservare al meglio le opere. In ambiente anglosassone, dove già in quegli anni il ruolo del conservatore era ben distinto da quello del restauratore, e soprattutto aveva una sua precisa connotazione, alcuni scienziati si dedicarono a studiare quali valori di temperatura e di umidità relativa dovevano essere applicati nei depositi.

Nel 1924, al British Museum di Londra, iniziò a lavorare l'archeologo Harold James Plenderleith il quale segnò, insieme al chimico Alexander Scott, una tappa importante nella conservazione museale. Insieme a lui altri studiosi di quel periodo contribuirono in maniera determinante all'affermarsi della conservazione.

Con lo scoppio del secondo conflitto mondiale le collezioni di dipinti del British Museum e del Victoria and Albert Museum furono portate presso un deposito allestito in una cava. Gli oggetti, conservati ad un'umidità relativa del 60% ca. e ad una temperatura di 16°C ca., sopravvissero alla guerra in ottime condizioni. Le collezioni dei dipinti della National Gallery furono immagazzinate nella cava di ardesia di Manod, nel Galles (dove erano stati costruiti rifugi in mattoni); con il semplice riscaldamento si riuscì a controllare il clima interno a valori del 58% di umidità relativa e di 17°C di temperatura[18]. Dopo la fine della guerra i dipinti, restituiti all'ambiente non controllato del museo, iniziarono a deteriorarsi. Questa esperienza risulterà fondamentale per la comprensione della modalità con cui alloggiare i vari manufatti.

Tornando a Plenderleith, egli pubblicò, nel 1956, "The Conservation of Antiquities and Works of Art", un testo basilare nella formazione di conservatori e restauratori. Quattro anni dopo in "Museum" (vol. XIII) Plenderleith, insieme all'umanista Paul Philippot (figura di spicco che ha promosso una grande crescita dell'interesse pubblico nella conservazione dei beni culturali a livello europeo), presentò il volume "Climatology and Conservation in Museums", anch'esso importante riferimento per il settore.

Altro momento importante fu il 1967, anno in cui l'International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works – IIC organizzò a Londra una prima conferenza sulla climatologia nei musei in cui vennero affrontate le questioni ambientali (in termini di parametri termoigrometrici, illuminazione, inquinamento) e la loro influenza sulle opere.

Il debutto della conservazione preventiva Negli anni Settanta cominciò a delinearsi il concetto di conservazione preventiva. Esso prese forma soprattutto in istituzioni come l'ICCROM, ad opera di Gaël de Guichen, e presso la National Gallery di Londra dove il chimico Robert Howard Garry Thomson studiò l'ambiente di conservazione museale individuandolo quale principale responsabile della degradazione delle opere d'arte. Thomson, tra l'altro, diede un contributo significativo alla conservazione preventiva con la pubblicazione di "The Museum Environment", testo che divenne una delle principali fonti di riferimento e di informazione per gli addetti al settore e che ancora oggi è tenuto in grande considerazione da chi si occupa degli aspetti conservativi.

Da tenere presente che in quegli anni vi era una netta distinzione di atteggiamenti tra l'Italia e gli altri paesi. Mentre in Italia la cultura era improntata sul restauro e sulla metodologia più corretta di intervento, seguendo la teo-

ria del restauro di Brandi, in Europa e negli Stati Uniti la speculazione teorica ruotava intorno alla Carta di Venezia del 1964 che sottolineava l'importanza massima della conservazione e dello studio dell'ambiente conservativo. La prima definizione di conservazione preventiva venne quindi intesa come "disciplina atta a riunire gli interventi utili a migliorare lo stato di conservazione dei beni culturali", stabilendo il principio del minimo ricorso ad azioni dirette. Negli anni successivi si andò sempre più affermando l'importanza della conservazione come mezzo per contrastare il deterioramento e studi e ricerche si intensificarono in ogni campo sia in Italia sia all'estero.

Nel 1975, in Italia, le competenze sulla tutela del patrimonio culturale librario, artistico ed archivistico vennero trasferite al neonato Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali in cui furono riunite le Direzioni Generali delle Belle Arti, delle Biblioteche e degli Archivi. In esso confluirono anche l'Istituto Centrale per il Restauro, l'Istituto Centrale per la Patologia del Libro, l'Opificio delle Pietre Dure e il Centro di Fotoriproduzione Legatoria e Restauro degli Archivi di Stato – CFLRAS (infine CFLR), nato nel 1963 nel Ministero degli Interni, con compiti di ricerca, studio e sperimentazione nel campo della conservazione e del recupero dei documenti archivistici.

Il Centro di Fotoriproduzione Legatoria e Restauro degli Archivi di Stato e l'Istituto Centrale per la Patologia del Libro si fonderanno nel 2007 nell'Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario – ICRCPAL (D.P.R. n. 233, 26 novembre 2007, art. 15, comma 1, lettera e) che sancirà l'unione tra il settore archivistico e quello librario. Il nuovo Istituto nasce dunque con l'intento di unificare e portare avanti insieme le esperienze maturate in precedenza, in particolare per quanto riguarda l'ambito della formazione dei restauratori; le competenze, il personale, le risorse finanziarie e strumentali, le attrezzature e il materiale tecnico e documentario del Centro sono stati trasferiti nella sede dell'ICPL. Da specificare che l'Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario ha modificato la sua denominazione in Istituto Centrale per la Patologia degli Archivi e del Libro – ICPAL con D.P.C.M., 2 dicembre 2019, n. 169, "Regolamento di organizzazione del Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo, degli uffici di diretta collaborazione del Ministro e dell'Organismo indipendente di valutazione della performance", G.U. n.16 del 21 gennaio 2020, in vigore dal 5 febbraio 2020. Come specificato infatti all'art. 33, Uffici dotati di autonomia speciale, punto 2.10: «l'Istituto centrale per la patologia degli archivi e del libro, che subentra all'Istituto centrale per il restauro e la conservazione del patrimonio archivistico e librario». Sempre con lo stesso decreto, l'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro – ISCR è tornato alla denominazione di Istituto Centrale per il Restauro – ICR.

Negli anni Ottanta l'International Council of Museums – ICOM, organismo non governativo associato all'UNESCO, emanò il "Codice di Deontologia dei Musei" (1986), poi aggiornato nel 2001 e nel 2004, ove venne proposta una normativa comune, minima ed universale, che pose le basi di una strategia globale nella tutela e nella conduzione di istituzioni museali. Il codice è uno strumento di autoregolazione professionale a livello mondiale. La conservazione preventiva definita come: «Qualsiasi azione mirata a rallentare o prevenire il deterioramento o il danno ai beni culturali, tramite il controllo dell'ambiente dove essi si trovano e/o tramite un trattamento alla loro struttura svolto per mantenere gli stessi beni in uno stato più stabile possibile», risulta concepita come elemento centrale della politica dei musei, tenuti a creare e mantenere un ambiente protettivo per le collezioni immagazzinate,

esposte o in transito.

Negli ultimi vent'anni del secolo scorso il termine "Conservazione Preventiva" entra dunque in scena e la materia si impone in un contesto più globale mediante convegni, corsi e pubblicazioni. Molto attivo in questo campo è l'ICCROM, organizzazione intergovernativa fondata a Roma nel 1956, che si dedica alla conservazione del patrimonio culturale mondiale tramite la formazione, l'informazione, la ricerca, la cooperazione e la sensibilizzazione, unitamente a paesi come la Francia, il Canada, gli Stati Uniti e l'Olanda.

Nei paesi anglosassoni l'intervento di restauro si delinea come un'azione diretta volta alla valorizzazione estetica e storica del bene e, in tale accezione, si discosta dalle dinamiche conservative che invece si occupano prevalentemente degli interventi atti a prolungare l'aspettativa di vita del bene. Si delineano anche le due definizioni di conservazione preventiva, la cui sfera d'azione è la tutela dell'ambiente di una collezione, e quello di conservazione curativa, che si occupa invece del trattamento delle "opere malate"[19].

La conservazione preventiva diventa in questi anni una disciplina che assume una connotazione sempre meglio definita, non limitata allo studio e all'attenuazione dei fattori ambientali del deterioramento (clima, luce ed inquinanti atmosferici). Le competenze si estendono, infatti, anche alla sicurezza e alla gestione del rischio (terremoti, incendi, eruzioni vulcaniche, guerre, inondazioni, vandalismi ecc.), ai danni provocati dall'accesso e dall'uso (scorrette manovre di movimentazione e manipolazione, inadeguati alloggiamenti, erronei interventi di restauro), all'inappropriata organizzazione del lavoro, alle mancate o insufficienti manutenzioni periodiche.

Il Convegno di Vantaa e l'Atto di Indirizzo Il 21 e il 22 settembre del 2000 in Finlandia, a Vantaa, si è tenuto un Convegno internazionale che ha avuto come obiettivo la formulazione di una "strategia europea per la conservazione preventiva" dei beni culturali. All'apertura delle giornate di lavoro, organizzate da 5 istituzioni appartenenti a: Italia, Finlandia, Portogallo, Francia e Ungheria (con ben 70 rappresentanti europei), la coordinatrice dell'ICOM-CC "Gruppo di lavoro nella Conservazione preventiva", ha definito così questo insieme di attività: «Il processo di gestire insieme a varie persone l'uso e la protezione dei beni culturali per il beneficio del vasto pubblico di oggi e delle generazioni future.»

Il documento scaturito da questo importante incontro, il "The Document of Vantaa Towards a European Preventive Conservation Strategy", ha rappresentato il momento conclusivo di un lungo *iter* che ha visto affermarsi il concetto e la pratica della conservazione preventiva. La fragilità del patrimonio culturale ha spinto infatti gli operatori del settore delle collezioni museali a tentare la strada della cooperazione per la salvaguardia dei beni, la cui integrità è costantemente minacciata da svariate cause. Il "Documento di Vantaa" (2002) ha inquadrato in una nuova ottica la disciplina che diventa "responsabilità globale e condivisa da tutti coloro che vengono in contatto con il patrimonio culturale: il personale dei musei — dal custode al dirigente — il personale scientifico (chimici, fisici e biologi), gli storici dell'arte, i restauratori, i politici di tutti i livelli di governo e il pubblico in generale; quel pubblico che usa e che gode del patrimonio". La conservazione preventiva deve diventare dunque parte della pianificazione a lungo termine di ogni istituzione. Nel documento, derivante dai contributi dei partecipanti di 24 nazioni, si sono definite a livello europeo temi e linee d'azione oltre a raccomandazioni per la conservazione preventiva che rispettano le esperienze vissute e le realtà di tutti i contesti culturali[20].

Un altro aspetto fondamentale scaturito dal congresso di Vantaa è il coinvolgimento attivo del pubblico, quello che frequenta i musei, che consulta libri, che studia materiali e raccolte, che ammira i monumenti, ma che può essere anche un distruttore. Quest'ultimo però se responsabilizzato e coinvolto e soprattutto se gli viene trasmesso e fatto comprendere il concetto della fragilità del patrimonio, può diventare egli stesso attore della salvaguardia dei beni.

Da questo punto in poi un gran numero di convegni, congressi, conferenze, seminari, sono stati organizzati per affrontare le varie tematiche conservative. Tra i più recenti, è da citare il 27th Congresso IIC, svoltosi a Torino (11–14 settembre 2018), dal titolo: "Preventive Conservation: The State of the Art" dove sono stati presentati gli sviluppi e i cambiamenti del settore nonché le questioni di maggiore attualità. Gli argomenti dibattuti hanno riguardato sia tematiche inerenti le prospettive sull'evoluzione della conservazione preventiva sia tematiche propriamente ambientali come i siti, il clima, la gestione ambientale, nonché la sostenibilità e la valutazione del rischio.

Da specificare che già l'IIC aveva affrontato in modo specifico i temi della conservazione preventiva a Ottawa nel 1994, in quella che può essere considerata tra le prime conferenze internazionali sull'argomento: "Preventive Conservation Practice, Theory and Research". Sempre in quegli anni l'Associazione dei restauratori di arte e archeologia di formazione universitaria – ARAAFU aveva promosso la prima conferenza internazionale "Conservation Preventive" presso l'UNESCO a Parigi. Nel 1996 una terza conferenza "Actas del coloquio internacional sobre conservación preventiva de bienes culturales" aveva avuto luogo a Vigo, in Spagna. Questi incontri sullo stesso argomento, per curatori, bibliotecari, archivisti, ma anche per collezionisti, hanno rappresentato fondamentali momenti di riflessione. In effetti durante questo quarto di secolo il campo si è sviluppato enormemente e la conservazione preventiva è diventata di importanza primaria nella gestione di musei, archivi e biblioteche, favorendo la sostenibilità delle organizzazioni e migliorando la cura delle collezioni.

Momento importante è il 2001, quando il Ministero per i Beni e le Attività Culturali con l'"Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei Musei" (D.M. 10 maggio 2001), emana per la prima volta un documento di regolamentazione della gestione del patrimonio culturale conservato nei musei. L'Atto è scaturito dall'applicazione del D.Lgs 112/98[21] (dove viene introdotto il concetto di standard per i servizi museali in Italia) in materia di federalismo amministrativo, il conferimento cioè di alcune prerogative dello Stato a regioni, province, comuni. Conservando lo Stato le funzioni di tutela, con questo documento (il quale costituisce una base programmatica, progettuale e gestionale condivisa dai diversi soggetti, istituzionali e non, che hanno contribuito alla sua elaborazione) si definiscono gli standard e le linee guida per l'organizzazione e la gestione dei musei italiani affinché siano messi in condizione di garantire, nel pieno rispetto di criteri uniformati, la valorizzazione, la fruizione e la conservazione delle opere.

L'Atto, elaborato da un gruppo di lavoro istituito con D.M. 25 luglio 2000, formato da rappresentanti del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, associazioni di enti locali, esperti e tecnici interni ed esterni al Ministero, tratta in maniera ampia ed organica tutta la materia museale. Essa viene suddivisa in otto diversi ambiti di riferimento per la definizione degli standard relativi allo stato giuridico, all'assetto finanziario, alle strutture del museo, al personale,

alla sicurezza del museo, alla gestione e cura delle collezioni, ai rapporti del museo con il pubblico e ai rapporti con il territorio; tra questi, quello dedicato alla cura delle collezioni (conservazione, restauro, esposizione e movimentazione) riveste particolare rilevanza[22].

La disciplina della conservazione preventiva Nella più moderna accezione, la conservazione preventiva si configura come una vera e propria dottrina trasversale e interdisciplinare che coinvolge svariati aspetti e abbraccia un vasto panorama di competenze e saperi di carattere scientifico, tecnico, tecnologico, gestionale, amministrativo, nonché gli aspetti riguardanti le professionalità coinvolte, la formazione del personale e la sensibilizzazione del pubblico[23]. La conservazione preventiva si fonda sui seguenti elementi:

- conoscenza dei materiali;
- consapevolezza e diagnosi del deterioramento e dei suoi meccanismi;
- cognizione e ricerca delle cause possibili;
- studio delle condizioni idonee per la salvaguardia dei beni;
- competenza riguardo le tecnologie e i sistemi disponibili per la risoluzione delle problematiche del deterioramento.

La disciplina si delinea dunque come una serie di attività da monitorare nel tempo, pianificate ed integrate, per il raggiungimento degli obiettivi prefissati[24]; senza un piano di prevenzione che allontani le possibili cause di deterioramento anche il restauro potrebbe rivelarsi inutile e privo di senso. Comunque la conservazione deve essere sempre di più considerata come un processo dinamico e i principi adottati, a livello internazionale, si devono preadattare al contesto del luogo.

Al fine di predisporre un piano di conservazione preventiva (nel paragrafo successivo si ritornerà su tale aspetto), definirne gli obiettivi e la loro scansione temporale, è importante innanzitutto identificare le problematiche più immediate. Questo si ottiene attraverso una puntuale e sistematica ricognizione dello stato di fatto[25]:

- degli edifici in rapporto all'ubicazione, alle condizioni ambientali esterne, alla qualità e allo stato di conservazione delle strutture, degli impianti, al territorio ecc.;
- dell'ambiente che ospita le raccolte/collezioni (microclima, inquinanti, alloggiamenti con arredi, contenitori, involucri, montaggi ecc.);
- delle raccolte/collezioni (stato di conservazione, manutenzione, accessi, manipolazioni, movimentazioni interne o per eventi espositivi, incrementi ecc.);
- della capacità delle istituzioni di affrontare i rischi connessi con le calamità, tramite corrette e mirate procedure per la gestione delle emergenze.

Si dovranno poi stabilire gli interventi e le loro priorità sulla base delle risorse finanziarie realmente disponibili, sia a breve sia a lungo termine. Spesso si incorre nell'errore di fare scelte impegnative come ad esempio installare grandi impianti di climatizzazione senza tener conto che essi richiedono, dovendo funzionare per un tempo illimitato e 24 ore su 24, oltre l'investimento iniziale, un continuo e cospicuo impegno economico in termini di consumi e di gestione. Succede così che nel tempo tali installazioni vengano abbandonate o diventino obsolete per mancanza di manutenzione e di parti di ricambio; il risultato finale, anziché in un beneficio, si tramuterà in un danno per le collezioni. Non sempre servono grandi investimenti per la

prevenzione, bastano spesso semplici accorgimenti tecnici come introdurre regole per la manipolazione e la movimentazione, intensificare i controlli, curare l'igiene dei locali, spostare una collezione in ambiente più favorevole, definire strettamente le situazioni maggiormente a rischio e magari intervenire solo su quelle in maniera più incisiva.

Strumenti validi per la conservazione preventiva sono gli standard, documenti identificati da un codice alfanumerico, che contengono norme tecniche unificate emanate da organismi pubblici o privati con autorità riconosciuta. Si tratta di accordi documentati contenenti specifiche tecniche o altri precisi criteri da utilizzare come regole, linee guida, definizioni o caratteristiche per assicurarsi che materiali, prodotti, procedimenti e servizi, siano conformi ai requisiti indicati.

La più importante organizzazione internazionale per la definizione di norme tecniche è l'ISO – International Organization for Standardization, fondata nel 1947, con il suo quartier generale a Ginevra. Membri dell'ISO sono gli organismi nazionali di standardizzazione di oltre 160 Paesi del mondo. Vi è poi il CEN – Comité Européen de Normalisation, creato nel 1961 con sede a Bruxelles, organismo europeo (28 paesi membri) competente ad emettere, di propria iniziativa o su mandato della Commissione della Comunità europea, le Norme EN in Europa. Esistono anche gli enti nazionali come ad esempio: l'UNI – Ente Nazionale di Unificazione, costituito nel 1921 in Italia, l'AFNOR – Association Française de Normalisation in Francia, e in America l'ANSI – American National Standard Institute, fondati rispettivamente nel 1926 e nel 1918. L'adozione di materiali e procedure rispondenti a standard normativi non è sempre obbligatoria, ma si rivela indubbiamente vantaggiosa come garanzia di qualità e di sicurezza rendendo inoltre più agevoli le scelte e rappresentando, nelle decisioni non sempre facili, un punto di riferimento.

Una coerente e corretta politica di prevenzione tende alla massima conservazione e al minimo intervento sul singolo oggetto. Si attua attraverso una pianificazione sistematica delle azioni da realizzare e con una razionale organizzazione del lavoro in cui si definiscono le figure professionali coinvolte e i loro compiti. Va incoraggiato e promosso il dialogo tra le varie professionalità che intervengono nelle dinamiche conservative; non deve esistere una professione ancillare rispetto ad un'altra, ma una specificazione di ruoli e livelli di responsabilità. Il personale scientifico e quello umanistico, il conservatore, il progettista (architetto e ingegnere), il restauratore, i tecnici, gli amministrativi, il personale di vigilanza, devono comunicare, parlarsi e istituire un sistema virtuoso in cui tutti si adoperano per un unico obiettivo: mantenere il più a lungo possibile i manufatti nel loro stato originale e prolungarne l'aspettativa di vita, affinché possano essere fruiti e resi accessibili al pubblico e trasmessi alle future generazioni.

Naturalmente diventa fondamentale la formazione del personale, occorrono nuove figure specializzate in ambito conservativo; sarebbe inoltre opportuno attivare corsi di formazione e/o specializzazione in conservazione preventiva per i professionisti dei beni culturali[26] che possano trovare così, attraverso un linguaggio comune e condiviso, occasione di sfruttare al meglio saperi e competenze specifiche.

A questo proposito è opportuno menzionare la "Carta nazionale delle Professioni museali"[27] approvata con alcune integrazioni dalla II Conferenza dei musei italiani svoltasi il 2 ottobre 2006 a Roma (promossa da un gruppo di lavoro interassociativo che coinvolge le associazioni museali italiane e l'ICOM Italia).

Al punto 4.3.1 sono definiti i compiti della figura del Conservatore museale:

> «Il conservatore è responsabile della conservazione, della sicurezza, della gestione e della valorizzazione delle collezioni a lui affidate. È responsabile, in concorso con il direttore, dell'identità e della missione del museo.
>
> In particolare
> – programma e coordina le attività di inventariazione e catalogazione delle collezioni secondo gli standard nazionali e regionali e ne garantisce la pubblica fruizione,
> – predispone i piani di manutenzione ordinaria, di conservazione e di restauro,
> – partecipa ai programmi per l'incremento delle collezioni,
> – contribuisce a elaborare i criteri e i progetti di esposizione delle raccolte,
> – conduce e coordina attività di ricerca scientifica,
> – collabora alla valorizzazione delle collezioni attraverso le attività culturali, educative e di divulgazione scientifica,
> – progetta e coordina attività relative alle esposizioni temporanee e di editoria del museo. […].»

L'obiettivo della carta nazionale era quello di individuare le principali professionalità e descriverne le responsabilità, gli ambiti di lavoro, i compiti ecc.: «[…] Il Museo contemporaneo richiede sia una professionalizzazione e una specializzazione degli addetti sia la massima interdisciplinarità, trasversalità e capacità di lavorare in gruppo da parte di tutti gli operatori […]». Si trattava solo di un primo approccio, una proposta, ma era sintomo della necessità di migliorare l'organizzazione del lavoro nel bene delle collezioni e del pubblico e che avrebbe dovuto trovare sviluppo anche in ambito archivistico e bibliotecario. Un primo passo verso la valorizzazione di tutte le professionalità culturali.

Al riguardo in materia di professionisti dei beni culturali e dell'istituzione di elenchi nazionali dei suddetti professionisti, la Legge 22 luglio 2014, n. 110, introduce nel Codice del 2004 anche le figure dei restauratori di beni culturali, dei collaboratori restauratori di beni culturali e degli esperti di diagnostica e di scienze e tecnologia applicate ai beni culturali. Le prospettive di lavoro purtroppo risultano ancora limitate rispetto al numero di restauratori che ogni anno si laureano nelle nostre università, soprattutto nell'ambito delle istituzioni pubbliche.

In questi anni anche la fruizione e l'accesso ai materiali sono profondamente mutati[28]: se una volta alle raccolte accedeva un pubblico elitario composto prevalentemente da studiosi, i quali ad ogni buon conto hanno arrecato non pochi danni e perdite al patrimonio, oggi i frequentatori si sono moltiplicati, anche grazie alla diffusione delle informazioni in rete. Oggetti, libri e documenti collocati nei depositi di musei, archivi e biblioteche sono materia di continue richieste per tesi, ricerche, esercitazioni, attività didattiche ecc. Le istituzioni sono inoltre chiamate a potenziare l'offerta culturale tramite iniziative di apertura al pubblico; musei e luoghi della cultura sono molto più frequentati di una volta soprattutto per la facilità degli spostamenti e per un turismo esigente, competente ed attento.

Conciliare queste esigenze con la conservazione preventiva non è facile, l'accesso espone infatti il patrimonio a continue sollecitazioni che certamente non ne favoriscono la durabilità, al contrario lo sottopongono ad usura; ma poiché "non si conserva per conservare"[29], si devono trovare le giuste soluzioni per minimizzare i rischi senza limitare eccessivamente la fruizione.

1.2 La fotografia come "bene culturale" da conservare

La conservazione del materiale fotografico, un formidabile patrimonio documentario in continua crescita, presente e diffuso capillarmente non solo in archivi, biblioteche e musei, ma anche in enti, istituzioni culturali, chiese ecc., rivela problematiche particolarmente complesse. Vale la pena dunque fare qualche riflessione.

Solo dopo la metà degli anni Settanta, in Italia si prende coscienza che il materiale fotografico, almeno quello "storico", deve essere considerato un "bene culturale"; fino ad allora la fotografia viene ritenuta uno strumento di lavoro esclusivamente adibito ed usato a documentazione di oggetti, monumenti, luoghi e avvenimenti ben più importanti dell'immagine che li raffigura[30].

Iniziative di rilievo vengono intraprese da importanti istituzioni europee con sede a Parigi operanti in questo settore. Si parla del Centre de Recherche sur la Conservation des Documents Graphiques – CRCDG e dell'Atelier de Restauration et de Conservation des Photographies de la Ville de Paris – ARCP, impegnati nel mettere a punto metodi e linee di conservazione e di catalogazione del materiale fotografico.

La Regione Emilia-Romagna attenta alle problematiche inerenti la conservazione delle fotografie, insieme all'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione – ICCD, all'Istituto Centrale per il Catalogo unico delle Biblioteche – ICCU e all'Archivio Fotografico Toscano (costituito alla fine degli anni Settanta per iniziativa del Comune di Prato), basandosi su tali iniziative, si dedica in quegli anni alla definizione di un modello uniforme di descrizione catalografica dei materiali fotografici[31].

Nel 1978, l'Assessorato alla Cultura della Regione Emilia-Romagna e l'Istituto per i Beni Culturali – IBC, progettano un corso di aggiornamento per operatori del settore dal titolo: "Il restauro tra metodo e prassi"[32], ove vengono affontate le varie tematiche del restauro e della conservazione dei materiali fotografici. L'anno successivo, a Modena, l'IBC in collaborazione con il Comune promuove il Convegno "La fotografia come bene culturale", creando così una ulteriore premessa per l'inserimento a pieno titolo della fotografia tra i beni da tutelare.

Altro momento importante per una presa di coscienza del pericolo a cui il patrimonio archivistico e librario (compreso quello fotografico) può andare incontro, è la realizzazione, nel 1986, della mostra "Scripta Volant"[33]. Ideata da ICCROM e Centro per la Patologia e la Conservazione del Libro e del Documento – CePaC e predisposta insieme a vari Istituti del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, tratta del biodeterioramento dei materiali conservati in archivi e biblioteche. In questo ambito si dà spazio anche alla fotografia.

Nel 1987 viene pubblicato, sempre dall'IBC, il primo volume in lingua italiana sulla conservazione e il restauro della fotografia: "La fotografia 1. Tecniche di conservazione e problemi di restauro", a cura di Luisa Masetti Bitelli e Riccardo Vlahov, che costituisce un prezioso strumento di studio e di lavoro per gli operatori del settore. Ugualmente l'IBC nel 1989, a Parma, organizza un'importante iniziativa, per i 150 anni dell'invenzione della fotografia, rivolta all'aggiornamento professionale degli operatori addetti alle collezioni fotografiche delle biblioteche comunali dell'Emilia-Romagna. In questa occasione vengono svolte lezioni sia teoriche sia pratiche sull'identificazione dei procedimenti fotografici e sulle tecniche di conservazione. Nel 1991 viene presentata in anteprima a Ferrara, durante la seconda edizione del Salone del Restauro (rilevante manifestazione a livello internazionale che si occupa

di economia, conservazione, tecnologie e valorizzazione dei Beni Culturali e Ambientali patrocinata dal MiC), una mostra didattico-divulgativa dal titolo: "La fotografia: conoscenza, conservazione e restauro". Nel 1992, a Prato, si svolge il convegno: "Fototeche e Archivi Fotografici. Prospettive di sviluppo e indagine delle raccolte", organizzato dall'Archivio Fotografico Toscano[34]. In questo contesto con una serie di seminari si sottolinea l'importanza della fotografia ribadendo la necessità di una normativa volta a tutelarla e a valorizzarla.

Sempre in quegli anni si decide di mettere a punto un modello unificato di schedatura e la Soprintendenza per i Beni Librari e Documentari della Regione Emilia-Romagna redige un "Manuale di Catalogazione", grazie ad un gruppo di lavoro appositamente predisposto[35]. Questo elaborato costituirà l'unico punto di riferimento per i catalogatori fino al 1999, anno in cui verrà pubblicata la prima parte della scheda ministeriale ICCD: "Strutturazione dei dati delle schede di catalogo, Beni artistici e storici, Scheda F / prima parte", nata dalla collaborazione con l'Istituto Nazionale per la Grafica, l'Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle biblioteche italiane e per le informazioni bibliografiche, l'Archivio Centrale dello Stato, la Soprintendenza per i Beni Librari e Documentari dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna, il Museo dell'immagine Fotografica e delle Arti Visuali – Università di Roma Tor Vergata, il Centro Regionale di catalogazione e restauro dei Beni Culturali della Regione Friuli-Venezia Giulia e infine l'ENEA. La scheda, strutturata per la catalogazione dei singoli fototipi, è suddivisa in paragrafi che comprendono campi semplici e campi strutturati in sottocampi, secondo lo schema già adottato dall'ICCD per il rilevamento dei dati nella catalogazione di altre tipologie di beni storico-artistici.

Tuttavia si sarebbe dovuta attendere l'emanazione del "Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali ed ambientali" del 1999 (art. 1 della L. 8 ottobre 1997, n. 352), affinché la fotografia fosse inserita tra "i beni culturali" con una propria dignità di fonte autonoma, da salvaguardare, tutelare, conservare e proteggere[36], passando dallo *status* di oggetto-strumento per la tutela, a quello di "bene" a sua volta oggetto di tutela. Infatti gli articoli 2 e 3 del "Titolo I Beni culturali" del T.U., recitano:

> «Art. 2. Patrimonio storico, artistico, demo-etno-antropologico, archeologico, archivistico, librario. Comma 2. Sono comprese tra le cose indicate nel comma 1, lettera a): e) le fotografie con relativi negativi e matrici, aventi carattere di rarità e di pregio artistico o storico. / Art. 3. - Categorie speciali di beni culturali. Comma 1. Indipendentemente dalla loro inclusione nelle categorie elencate all'Art. 2, sono altresì beni culturali ai fini delle specifiche disposizioni di questo Titolo che li riguardano: d) le fotografie e gli esemplari delle opere cinematografiche, audiovisive o sequenze di immagini in movimento o comunque registrate, nonché le documentazioni di manifestazioni sonore o verbali comunque registrate, la cui produzione risalga ad oltre venticinque anni.»

Con l'attuazione del Codice (2004), nel Titolo I, l'art. 2 recita invece:

> «Art. 2. – Patrimonio storico, artistico, demo-etno-antropologico, archeologico, archivistico, librario. Comma 4. Sono comprese tra le cose indicate al comma 1 e al comma 3, lettera a): e) le fotografie, con relativi negativi e matrici, le pellicole cinematografiche ed i supporti audiovisivi in genere, aventi carattere di rarità e di pregio.»

Nel periodo precedente l'emanazione del Testo, nonostante la fotogra-

fia fosse riconosciuta in ambito statale già dal 1892 con l'istituzione del Gabinetto Fotografico Nazionale (soppresso nel 1975: art. 14, D.P.R. del 3 dicembre 1975 n. 805), non era presente nessuna normativa relativa alla sua tutela. Solo con il D.P.R. n. 805, emanato in occasione dell'organizzazione del Ministero dei Beni culturali e ambientali, si fa riferimento al bene "fotografia". Infatti l'art. 29 recita:

> «È istituito in Roma l'Istituto nazionale per la grafica, con compiti di salvaguardia, catalogazione e divulgazione di beni concernenti la produzione grafica e fotografica senza nessuna indicazione sulla regolamentazione in materia […]».

Questo grande ritardo normativo ha fatto in modo che nel frattempo molto materiale sia andato disperso, deteriorato, persino distrutto per improprie condizioni ambientali di conservazione, per usura, incuria, disattenzione, insomma "per scarsa considerazione" e si siano così perse preziose occasioni per annettere fondi archivistici fotografici anche di grande importanza.

Nell'ultimo decennio del Novecento, inoltre, è da sottolineare l'impegno del Centro di Fotoriproduzione Legatoria e Restauro degli Archivi di Stato[37] che ha intrapreso studi e ricerche sul deterioramento chimico e biologico delle fotografie e sulle metodiche per una loro corretta conservazione. Diverse iniziative sono state portate avanti in quegli anni come il Convegno di Dobbiaco del 2002, "Scelte e strategie per la conservazione della memoria", ove alla fotografia nelle tematiche della conservazione, del deterioramento e della digitalizzazione è stato dato ampio spazio. L'organizzazione di un corso sperimentale di alta formazione, nel 2004, dal titolo "La Fotografia: materiali, tecniche, linguaggi, prevenzione, conservazione, restauro, accesso" (con la collaborazione dell'ICPL, della Sapienza Università di Roma e del Consorzio interuniversitario Roma-Ricerche), ha poi consentito a numerosi studiosi archivisti, bibliotecari, dell'ambito ministeriale e non, di acquisire o perfezionare le competenze inerenti la conservazione e il restauro di questi beni.

Ancora tra le iniziative del Centro vi è la partecipazione al Progetto SEPIA, "Safeguarding European Photographic Images for Access", programma di attività correlate alla conservazione e digitalizzazione delle collezioni fotografiche storiche (1999–2003). SEPIA è stato promosso dalla European Commission on Preservation and Access – ECPA (istituita nel 1994 per promuovere attività al fine di rendere accessibili le collezioni degli archivi e delle biblioteche europee) e finanziato dalla UE sotto il Programma "Culture 2000". A conclusione del Programma, il Progetto ha continuato l'attività come network indipendente pianificando eventi. Nel 2003 è stata organizzata dal CFLR con l'Associazione Nazionale Archivistica Italiana – ANAI (in collaborazione con FIF – Fondazione Italiana per la Fotografia, ICCD, ING, Sapienza Università di Roma 1 – Dip. Fisica) anche una edizione seminariale del Progetto, intitolata "La digitalizzazione per la salvaguardia degli archivi e delle collezioni fotografiche"[38], proposta come contributo alla definizione dei nuovi settori operanti all'interno del M*i*BAC[39].

L'attenzione verso la fotografia da parte del MiBACT si consolida grazie all'emanazione del "Piano Strategico per la Fotografia" e all'istituzione di una cabina di regia voluta dal ministro Franceschini nella primavera del 2017. Lo stesso ministro indice gli Stati Generali della Fotografia, due giornate di convegno a Roma, seguite da 18 incontri diffusi sul territorio nazionale che si concludono a dicembre 2017. Viene inoltre aperto il "portale Fotografia"

(fotografia.italia.it), con al suo interno il "Censimento delle Raccolte Fotografiche in Italia", importantissimo strumento che riunisce patrimonio pubblico e privato, promosso da ICCD e coordinato dall'archivista Barbara Bergaglio.

L'iniziativa ministeriale più recente per la storia della tutela e conservazione della fotografia è l'istituzione del Servizio V – Fotografia – della Direzione Generale Creatività Contemporanea, dedicato alla Promozione della conoscenza della fotografia, della sua storia e delle opere contemporanee – Sostegno alla creatività e alla produzione nel settore della fotografia – Promozione della fotografia italiana contemporanea all'estero – Cura del Piano strategico di sviluppo della fotografia in Italia – Attività di formazione, catalogazione, studio e ricerca nel settore della fotografia; iniziative per la conoscenza e valorizzazione degli archivi di fotografia.

Per quanto riguarda la Scheda F volta alla descrizione dei beni fotografici, prima citata, oggi questo strumento si trova nella versione aggiornata 4.00 (ottobre 2016) con l'uso di prevedere la descrizione di insiemi tematici. Ad essa si affianca la Scheda FF (Fondi Fotografici) versione 4.00 del marzo 2016. La Scheda FF costituisce, come riportato dalle parole di Elena Berardi – ICCD (contenuta nella presentazione) una significativa tappa evolutiva nel panorama catalografico.

> «[…] presentiamo la scheda FF – Fondi fotografici, pubblicata dall'Istituto centrale per il catalogo e la documentazione a conclusione di un periodo di sperimentazione utile a testare la funzionalità del prodotto, secondo l'iter consueto adottato dall'Istituto prima del rilascio ufficiale di ciascuna normativa. La scheda FF viene diffusa nella sua prima versione sebbene da tempo concepita e strutturata nel suo impianto metodologico e concettuale […] A conclusione dei lavori possiamo affermare che essa costituisce una significativa tappa evolutiva nel panorama catalografico, poichè insieme alla Scheda F chiude un circolo virtuoso volto alla descrizione dei beni fotografici […]».

Alle Schede F e FF si affianca la Scheda Autore (versioni: 2.00, 3.00, 3.01, 4.00) e la recentissima Scheda Persone e Enti (AUT): "Verso un archivio controllato dei nomi: Persone e Enti (AUT) Autori fotografi (personali e collettivi)" consultabile nel sito ICCD.

1.3 Istituzioni per la conservazione delle fotografie

A livello internazionale Notevole impulso a studi e ricerche sul patrimonio fotografico è stato dato da importanti ed autorevoli istituti statunitensi come l'Image Permanence Institute – IPI, fondato nel 1985 con la collaborazione della Society for Imaging Science and Technology – IS&T (1947) presso il Rochester Institute of Technology – RIT a Rochester nello Stato di New York (sede storica della Eastman Kodak Company – ECK e del più antico museo al mondo dedicato alla fotografia George Eastman House International Museum of Photography and Film – GEH).

In particolare l'IPI ha prodotto importanti pubblicazioni di riferimento per conservatori e studiosi della fotografia, quali: "Care and Identification of 19th-Century Photographic Prints" (1986), "IPI Storage Guide for Acetate Film" (1993), "Storage Guide for Color Photographic Materials" (1998) e "IPI Media Storage Quick Reference" (2009). Inoltre, ha pubblicato diversi documenti anche sulle stampe digitali tra cui: "IPI's A Consumer Guide to Traditional and Digital Print Stability" (2004), "Photographic Negatives: Nature

and Evolution of Processes" (2004), "A Consumer Guide for the Recovery of Water-Damaged Traditional and Digital Prints" (2007), "A Consumer Guide to Modern Photo Papers" (2009), "A Consumer Materials for Preservation Framing and the Display of Photographic Images" (2010), "The Atlas of Water Damage on Inkjet-printed Fine Art" (2016), "Photo-storage, Display, & Labeling Materials – A Guide to ISO 18902 – Photo-safe – Testing (2018). Tra le ultime pubblicazioni, l'atlante relativo ai danni determinati dall'acqua sulle stampe a getto d'inchiostro e *fine art*, a cura di Meghan Connor e Daniel Burge, costituisce un utile supporto per comprendere come questi materiali possono essere danneggiati in tale emergenza.

Sulle stampe digitali in seno all'IPI è stato avviato, nel 2007, il programma di ricerca "DP3 Project", al fine di valutare gli effetti della luce, dell'inquinamento, dell'umidità e del calore. Di riferimento è il portale: "Digital Print Preservation Portal" (http://www.dp3project.org/), ove sono descritte le principali tecnologie di stampa digitale, i metodi per identificarle, i vari tipi di deterioramento nonché i risultati di studi e ricerche in merito alla loro stabilità e alla loro conservazione.

Ulteriore sofisticata risorsa creata dall'IPI è il "Graphics Atlas", basato sull'identificazione e caratterizzazione delle varie tecniche fotografiche, che si rivela un valido strumento di supporto soprattutto per i nuovi conservatori. Anche il The Getty Conservation Institute di Los Angeles, noto per il suo interesse nei confronti dei materiali fotografici, agli inizi del secolo XXI ha avviato, insieme all'IPI e al Centre de recherches sur les documents graphiques – CRCDG, il progetto di ricerca "Conservation of Photographic Materials". Tale progetto è nato per fornire una base allo sviluppo successivo di nuovi strumenti utili a diagnosticare le cause del deterioramento dei materiali fotografici e a sviluppare nuovi trattamenti e strategie di conservazione preventiva. Nell'agosto del 2013 è scaturita una pubblicazione dal titolo: "The Atlas of Analytical Signatures of Photographic Processes" curata dai ricercatori Dusan Stulik e Art Kaplan. Disponibile online, l'Atlante fornisce informazioni scientifiche dettagliate su alcuni dei più comuni e importanti processi fotografici chimici in bianco e nero. Storici dell'arte, archivisti, bibliotecari e altri responsabili della conservazione delle collezioni fotografiche possono trovare in questo atlante importanti informazioni per la loro identificazione.

In ambito europeo, a Parigi, si segnalano il Centre de Recherche sur la Conservation des Collections (sopra citato), dipartimento di ricerca sui materiali fotografici nato nel 1974 ed eredità del Centre de recherches sur la conservation des documents graphiques – CRCDG (creato nel 1963 in seno al Muséum National d'Histoire Naturelle – MNHN) e l'Atelier de Restauration et de Conservation des Photographies de la Ville de Paris – ARCP (sorto nel 1983 e diretto da Anne Cartier-Bresson). L'ARCP, che propone corsi specialistici presso l'INP (Institut National du Patrimoine, ex IFROA) e stages formativi, è impegnato nella salvaguardia delle fotografie possedute dal municipio di Parigi, l'Hôtel de Ville de Paris, e conservate in musei, biblioteche e archivi. A Parigi da segnalare è la Société Française de Photographie (SFP), associazione riconosciuta di pubblica utilità, guidata da ricercatori, specialisti nella storia della fotografia, la quale ha prodotto dal 1996 la principale rivista per gli studi visivi: "Études photographiques" (la rivista ha terminato la sua pubblicazione con il n. 35 del 2017). Sempre in Francia, da citare vi è anche l'Institut Suisse pour la Conservation de la Photographie – ISCP di Neuchâtel (nato nel 1986 con il concorso di fondi nazionali della ricerca scientifica) e il nuovo Institut pour la Photographie a Lille (Région Hauts-de-France).

Ad Amsterdam di rilievo è il Rijksmuseum e a Londra il The Institute of Conservation – ICON all'interno del quale è stato costituito l'Icon Photographic Materials Group, gruppo che organizza periodicamente corsi di identificazione delle tecniche fotografiche, dei processi creativi e delle modalità di conservazione di questi materiali.

Altri istituti, organismi pubblici e centri specializzati anche nella salvaguardia dei materiali fotografici negli Stati Uniti sono: l'Art Institute of Chicago – ARTIC (1893), il Northeast Document Conservation Center – NEDCC (1973) ad Andover, il Conservation Center for Art and Historic Manufact – CCAHA (1977) a Philadelphia e l'American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works – AIC (1972) a Washington D.C.

Di rilievo, all'interno dell'AIC, è il gruppo specializzato "Photographic Materials Group (PMG)" costituito nel 1979, il quale, grazie ad incontri periodici, presenta argomenti inerenti restauro, storia e tecnologia della fotografia nonché ricerche scientifiche e metodi per la gestione del rischio delle collezioni. Tra gli ultimi corsi da segnalare vi è quello organizzato nell'aprile 2020 intitolato "Photograph Conservation Basics for Conservation Professionals" e il *meeting* "How and Why: Photography Conservation Today" organizzato a New York (19–23 febbraio 2019) da AIC, PMG e dal Photographic Materials Working Group dell'ICOM-CC. Lo scopo del gruppo PMG è quello di facilitare lo scambio di informazioni (anche attraverso newsletter periodiche) tra curatori delle collezioni e promuovere la pubblicazione di studi specifici. A tal proposito è da segnalare: "Platinum and Palladium Photographs: Technical History, Connoisseurship, and Conservation" (2017), "Conservation of Photographs: Thirty Years of Science" (2016), "Photographic Materials Conservation Catalog (PMCC) WIKI", "Coatings on Photographs: Materials, Techniques, and Conservation" (2005). Messa a punto dal PMG, insieme all'AIC, è altresì la scheda-questionario: "Photograph Information Record" (PIR) – "Scheda informativa dell'opera fotografica" (2013). Il *record basic cataloging information*, utilizzato in diverse istituzioni nel mondo, pensato per raccogliere le informazioni essenziali relative ai materiali e alle tecniche delle fotografie e alla loro storia, può essere di aiuto nel tracciare l'opera fotografica e gli elementi di creatività in essa contenuti.

A Ottawa, in Canada, è da evidenziare anche il Canadian Photography Institute – CPI, istituto di ricerca della National Gallery of Canada (1988). Svolgono un ruolo importante altresì il Victoria and Albert Museum – V&A (1852) e la National Gallery (1824) a Londra e i National Museums Scotland di Edimburgo (1985). Inoltre vi è il Centre d'iconographie de la Bibliothèque de Genève (1993), la Österreichischen Nationalbibliothek (XV secolo) a Vienna, il Museum für Fotografie di Berlino (2004) e il Department of Film Studies, University of Zurich – UZH (1989). Ulteriori organizzazioni internazionali di grande rilievo sono l'International Council on Archives – ICA, fondato nel 1949 presso l'UNESCO a Parigi e l'International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works – IIC.

In Italia Oggi studi su deterioramento, conservazione e restauro del materiale fotografico sono sviluppati dai più importanti Istituti di ricerca del Ministero della Cultura – MiC (D.Lgs 1 marzo 2021, n. 22, "Disposizioni urgenti in materia di riordino delle attribuzioni dei Ministeri" – G.U. Serie Generale n. 51 del 1 marzo 2021): l'ICPAL, in primo piano, l'OPD, l'ICCD e ancora l'ICR e l'ICG (Istituto Centrale per la Grafica, denominazione assunta dal 10 dicembre 2014 come evoluzione dell'Istituto Nazionale per la Grafica – ING, fondato nel 1975 dall'unione della Calcografia Nazionale, di eredità pontificia, e

del Gabinetto nazionale delle stampe – D.P.C.M. del 29 agosto 2014, n. 171, art. 30), inoltre le Università e il Centro Nazionale delle Ricerche – CNR. Tra gli organismi internazionali è sempre molto attivo l'ICCROM, che sviluppa programmi didattici innovativi, strumenti e materiali per la conservazione e il restauro, e che tra l'altro possiede una biblioteca tematica sulla conservazione e sul restauro tra le più complete al mondo.

Nel 2010 l'ICPAL, allora Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario, ha avviato un Corso quinquennale a ciclo unico, equiparato alla Laurea Magistrale, in Conservazione e Restauro dei beni culturali, abilitante alla professione di "Restauratore di beni culturali", percorso formativo professionalizzante – PFP 5, di materiale librario e archivistico, manufatti cartacei e pergamenacei, materiale fotografico, cinematografico e digitale (accreditamento: art. 1 del Decreto Interministeriale M*i*BACT–MIUR del 25 agosto 2014 e precedente D.M. n. 87/2009. I corsi formativi possono essere svolti dalle scuole di alta formazione e di studio secondo quanto previsto dal "Codice dei beni culturali" all'articolo 29). Nell'ambito degli insegnamenti, vi è un modulo di "Restauro dei beni fotografici" e uno di "Conservazione preventiva" in cui una parte è dedicata alla conservazione delle fotografie.

Anche la Scuola di Alta Formazione dell'OPD, ufficialmente istituita nel 1992, rilascia lo stesso diploma come pure altre istituzioni formative accreditate (percorso formativo nel settore fotografia): l'Università degli studi di Roma Tor Vergata, l'Università degli studi di Palermo, l'Università degli Studi di Torino in convenzione con la Fondazione Centro Conservazione e Restauro La Venaria Reale – CCR, la scuola di restauro del Centro regionale di catalogazione e restauro dei beni culturali di Villa Manin di Passariano (Udine), l'Accademia di Belle Arti di Brera e l'Accademia di Belle Arti di Bologna.

L'ICCD, il cui patrimonio fotografico rappresenta una delle più importanti raccolte pubbliche di fotografia storica nazionale con alcuni milioni di fototipi dal 1840 ad oggi, ha promosso nel tempo corsi e tirocini dedicati alla conservazione delle fotografie e dal 2012 ha istituito un "Gruppo di lavoro con funzioni di indirizzo a supporto delle attività di ICCD, ISCR, ICRCPAL" costituto da esperti scientifici dei tre Istituti (sul sito ICCD si possono trovare i vari documenti elaborati).

In ambito nazionale sono da ricordare anche alcuni centri di rilievo per la conservazione della fotografia e primo fra tutti è la Fratelli Alinari, Fondazione per la Storia della Fotografia, costituitasi a Firenze nel 1852 e operante nel settore delle immagini e della comunicazione. Nel tempo l'azienda ha curato mostre, pubblicazioni, campagne fotografiche, gestione di archivi fotografici ecc. Nel 1985, si sono aggiunti il Museo Nazionale Alinari della Fotografia – MNAF e la Biblioteca di Storia della Fotografia.

Altri centri di spicco sono il Centro di Ricerca ed Archiviazione della Fotografia – CRAF (1955) di Spilimbergo, in provincia di Pordenone, la cui fototeca organizza, con professionisti qualificati, laboratori di restauro e conservazione e il Centro Conservazione e Restauro – CCR, della "Reggia di Venaria" che si occupa di ricerca, formazione e restauro nel campo dei beni culturali.

Da non tralasciare è il Fotomuseo Giuseppe Panini a Modena — la cui raccolta nasce dalla passione collezionistica di Panini noto imprenditore fondatore della Edizioni Panini — e il Museo di Fotografia Contemporanea – MFC a Cinisello Balsamo vicino Milano. Vi sono conservate importanti collezioni di autori italiani e stranieri (un milione e mezzo di fotografir storiche e duecentomila cartoline fotografiche), dal secondo dopoguerra ad oggi.

1.4 Conservazione preventiva di materiale fotografico

La consapevolezza dell'enorme potenzialità documentaria delle fotografie, dall'epoca della scoperta in poi, è andata sempre accrescendosi parallelamente all'evoluzione delle tecniche. Ciò ha portato al formarsi di raccolte importanti o modeste, eterogenee per procedimenti, materiali, formati, composizione, per pluralità di supporti, per presenza di montaggi o cornici, per innumerevoli "ricette" utilizzate dai singoli fotografi, volte ad ottenere effetti o risultati estetici particolari. Contemporaneamente all'affermarsi della fotografia è andata formandosi, presso gli stessi creatori di immagini, la coscienza della loro grande vulnerabilità dovuta a molteplici cause di degradazione[40].

I fattori esterni che contribuiscono al deterioramento del materiale fotografico includono principalmente[41]:

- temperatura e umidità relativa non controllate;
- inquinanti chimici e biodeteriogeni (microrganismi, artropodi e roditori);
- deposizione e accumulo di polveri;
- impiego di materiali scadenti o incompatibili per immagazzinamento ed esposizione;
- manipolazioni e movimentazioni improprie.

A ciò si aggiungono le cause intrinseche di instabilità dei materiali ove le più comuni sono da individuarsi in:

- presenza residuale di prodotti chimici per inadeguati o incompleti trattamenti quali fissaggi e lavaggi;
- instabilità dei coloranti organici che rendono le fotografie a colori particolarmente soggette ad alterazioni cromatiche;
- tendenza alla decomposizione (grave) di alcune tipologie di pellicole (nitrato e acetati di cellulosa).

Misure preventive sono in grado di rallentare la velocità di deterioramento anche quando le cause non sempre sono rimovibili come nel caso dei fattori intrinseci[42].

Una politica di conservazione preventiva dovrà quindi stabilire rigorose regole per disciplinare il deposito, la consultazione, la manipolazione e la movimentazione degli originali. Dovrebbe inoltre prevedere e promuovere il trasferimento dell'informazione su altri supporti, analogici o digitali, per salvaguardarne l'integrità, consentendo al contempo la fruizione e la divulgazione dei contenuti. Le riproduzioni permettono di conservare le informazioni contenute in fotografie molto deteriorate o tendenti allo sbiadimento (a colori), in supporti instabili (nitrato e acetati di cellulosa), in lastre di vetro rotte o incrinate[43].

La pratica della microfilmatura ad esempio, da tempo diffusa in archivi e biblioteche come efficace alternativa alla consultazione di manoscritti e documenti rari e come mezzo per preservare l'informazione[44], anche se ormai soppiantata dall'avvento della digitalizzazione[45] (tenendo in considerazione l'impegno nel sostenere le tecnologie per la consultazione delle scansioni e i sistemi di lettura destinati a diventare in breve obsoleti), ha dato un notevole contributo alla conservazione di molti beni. Tra l'altro i microfilm stessi costituiscono un materiale soggetto alle pratiche conservative.

La grande varietà di questo patrimonio non rende possibile circoscrivere entro rigidi canoni, comuni a tutti i materiali fotografici, i parametri ambien-

tali o la qualità degli alloggiamenti più idonei, per tale motivo è necessario operare differenziazioni che tengano conto delle molteplicità dei componenti di natura organica e inorganica, dell'instabilità intrinseca di alcuni materiali costitutivi (nitrato e acetati di cellulosa, fotografie a colori – soprattutto quelle a sviluppo cromogeno degli anni Sessanta – e alcune tipologie di stampe digitali), dell'eventuale presenza di situazioni di degradazione avanzate e/o di difetti in origine. Inoltre in gran parte delle biblioteche e degli archivi è consueto trovare in completa commistione materiali fotografici, librari ed archivistici, in tal caso, sulla base di considerazioni legate alla tipologia e allo stato di conservazione dei beni e ai rischi cui sono esposti, si valuterà l'opportunità o meno di procedere all'allontanamento degli stessi sacrificando la composizione storica o cronologica delle collezioni/raccolte al fine di migliorare le condizioni di conservazione. Un valido aiuto proviene dagli standard normativi elaborati per il trattamento, la valutazione della stabilità, l'archiviazione e l'immagazzinamento delle fotografie, norme che saranno richiamate nel testo secondo gli argomenti affrontati.

La protezione delle opere facenti parte di collezioni (o raccolte) potrà realizzarsi solo tramite l'elaborazione di un piano di conservazione preventiva – già delineato precedentemente – che affronti in maniera globale le problematiche comuni e le esigenze specifiche ai fini di una valutazione del rischio.

Parlando genericamente di collezioni e raccolte un chiarimento su tali termini viene dalle definizioni tratte dalla "Normativa FF – Fondi Fotografici, versione 4.00" del 2017 (Paragrafo OG – Campo OGT – Sotto-campo OGTD, relativo alle tipologie di sedimentazioni fotografiche):

> «Collezione: insieme organico di fototipi, con o senza documenti ad essi connessi, informato da un progetto selettivo storico-fotografico, artistico, iconografico o tipologico strettamente legato alla intenzionalità della persona o ente produttore e creato in un arco temporale definito. Si distingue per la precisa progettualità, per la focalizzazione su una precisa tipologia o soggetto, che assicurano omogeneità all'insieme rispetto ad un criterio dato, all'azione di ordinamento e classificazione operata dal collezionista, ovvero dal soggetto produttore del fondo. [...]
>
> Raccolta: può coincidere con la collezione, ma l'uso comune allude ad una minore determinazione e precisione selettiva, ad una maggiore "casualità" dell'accumulo e della conservazione e "eterogeneità" (morfologica, storica, tematica, etc.) dei materiali. Appare legata in misura minore alla intenzionalità della persona o ente produttore, può avere o meno distinti perimetri tipologici e cronologici».

La programmazione di un piano di conservazione preventiva può essere rivolta ad un ambiente adattato per tale scopo ma anche ad un ambiente nel suo contesto d'uso. In generale il piano deve partire da una prima fase di ricognizione delle collezioni/raccolte (comprensiva dell'identificazione dei procedimenti e dei componenti delle fotografie) e dello stato di conservazione dei materiali (tab. 1.1) per poi passare alla ricognizione della situazione corrente degli edifici e dei locali adibiti all'alloggiamento (tabb. 1.2 e 1.3). Queste fasi risultano fondamentali per procedere alla raccolta dei dati e alla loro successiva interpretazione e correlazione, al fine di evidenziare i punti critici del sistema, stabilire i provvedimenti da attuare in ordine di priorità, individuare gli obiettivi da raggiungere a breve, medio e lungo termine e definire i bisogni nella loro totalità, evitando interventi a "pelle di leopardo" che rischiano di rimanere isolati, spesso inefficaci e a volte inutilmente dispendiosi[46].

Tabella 1.1 – Ricognizione delle collezioni/raccolte.

IDENTIFICAZIONE DI PROCEDIMENTI E MATERIALI (anche in base alla struttura stratigrafica dei materiali fotografici, vedi Capitolo 2)	Prodotti unici: dagherrotipi, ambrotipi, ferrotipi, polaroid ecc. Negativi b/n e a colori. Positivi b/n e a colori (specificare se derivano da negativo originale o digitalizzato, scatto digitale o se sono copie stampate) includendo anche le stampe digitali. Diapositive b/n e a colori. Supporti: vetro, carta, carta plastificata, materie plastiche (nitrato/acetati di cellulosa, poliestere ecc.), tessuti, cuoio, avorio, ceramica, porcellana, legno ecc. Leganti: albumina, gelatina, collodio ecc. Elementi fotosensibili: alogenuri d'argento, sali di ferro, di platino e di palladio, bicromati alcalini ecc. Viraggi, colori (coloranti, pigmenti), adesivi, colle, vernici. Altro.
QUANTIFICAZIONE	Quantità per ogni tipologia. Quantità per formati e/o ingombri.
INGOMBRI	Formati. Supporti secondari, montature, cornici, astucci, altro. Album, cartelle, altro.
INFORMAZIONI GENERALI	Valore delle collezioni/raccolte, sviluppo previsto e utilizzo in previsione anche di eventuali eventi espositivi.
STATO DI CONSERVAZIONE*	a) Individuazione della tipologia di degradazione: – chimica; – fisica; – biologica. b) Individuazione delle cause possibili: – esterne (ambientali, antropiche, materiali a contatto). – interne (instabilità dei materiali, trattamenti imperfetti e difetti di fabbricazione). c) Attribuzione di un codice di priorità che consenta la programmazione degli interventi di messa in sicurezza e di restauro a breve, medio e lungo termine. Utile l'impostazione di una gerarchizzazione della gravità delle alterazioni[47]. d) Valutazione dei costi per gli interventi di messa in sicurezza e di restauro.

* Studio della materia di cui sono composte le opere.

Tabella 1.2 – Ricognizione di edifici e locali conservativi.

ISPEZIONE DELL'EDIFICIO	Orientamento. Localizzazione: urbana, rurale, industriale, altro. Stato di conservazione delle strutture: muri, tetti, infissi, impianti, altro. Sicurezza strutturale (stabilità edificio e struttura).
TIPOLOGIA DEI LOCALI	Ambiente confinato, semiconfinato, spazio aperto. Sala consultazione, ufficio, deposito chiuso, locale, cantina, vie di passaggio ecc. Presenza di finestre/accessi. Presenza di impianti di termoregolazione/climatizzazione/illuminazione/antincendio ecc. Estensione e volume degli spazi a disposizione.

UBICAZIONE DEI LOCALI	Esposizione. Interrato, seminterrato, piano terreno, piano intermedio, sottotetto, sottoscala ecc. Altro.
ISPEZIONE DEI LOCALI	Tipologia, capacità, portata, materiali di arredi. Orientamento, presenza di aperture (finestre, porte ecc.) ecc. Stato conservativo: infiltrazioni d'acqua, risalite capillari ecc. Igiene: frequenza, compatibilità di prodotti utilizzati ecc.
ALLOGGIAMENTI	Tipologia e materiali degli alloggiamenti. Vetustà e compatibilità degli alloggiamenti. Altro.
MISURAZIONI E CONTROLLI AMBIENTALI	Temperatura e umidità relativa. Velocità dell'aria. Illuminamento. Inquinanti chimici: gassosi, particolati. Aerosol biologico (microrganismi e artropodi). Infestanti (artropodi/roditori).

Tabella 1.3 – Gestione delle collezioni/raccolte.

PROCEDURE DI ACCESSO	Consultazione. Prestito.
PROCEDURE DI MANIPOLAZIONE E MOVIMENTAZIONE	Attrezzature adatte: carrelli, scale, basi rigide. Uso di DPI. Percorsi privi di ostacoli. Formazione del personale e indicazioni per gli utenti.
PIANI DI MANUTENZIONE	Ispezioni periodiche. Depolverature periodiche. Interventi diretti sui beni.
SICUREZZA	In caso di incendio/antincendio (Atto di Indirizzo, 2001). Anticrimine. Predispozione di un "Piano di emergenza" per salvataggio e messa in sicurezza delle opere in caso di eventi eccezionali (calamità naturali, incendi, esplosioni/scoppi, allagamenti ecc.) (cfr. tab. 1.4).
REGOLAMENTAZIONE DELLE ESPOSIZIONI	Frequenza degli eventi e durata dell'esposizione. Illuminazione. Vetrine/climabox. Prestito (documentazione secondo D.Lgs. n. 42/2004). Imballaggio/disimballaggio/trasporto (con sistemi di sicurezza) (cfr. tab. 1.5).

Nella fase di ricognizione, l'adozione di una scheda ambientale, strutturata secondo l'Atto di Indirizzo[48] (quale la scheda messa a punto dall'ICR nel 2001 e sperimentata in molti musei italiani[49]) da aggiornarsi periodicamente, può essere uno strumento di grande utilità per evidenziare e valutare l'interazione manufatto-ambiente; tale documento integrerà la scheda conservativa[50].

Raccolte tutte le informazioni si potrà procedere alla formulazione di un piano integrato di prevenzione (tab. 1.4), in accordo con i principi dell'ecosostenibilità[51] riconosciuti anche dall'ICOM[52]. Fondamentali risultano nel tempo le ispezioni periodiche, utili a circoscrivere o quantomeno a mitigare l'impatto di qualsiasi evento. Importante risulta poi la registrazione dei dati su schede ispettive (es. "Scheda attività ispettiva"[53] predisposta per le collezioni fotografiche dell'ICCD) e schede conservative.

Tabella 1.4 – Piano di conservazione preventiva.

AGENTI DI DETERIORAMENTO*	INTERVENTI DA ATTUARE
Complesso edilizio (strutturale e impiantistico) inadeguato	Risanamento del complesso edilizio mediante interventi volti ad assicurarne funzionalità e sicurezza. Selezione degli interventi più convenienti dal punto di vista dell'efficienza energetica, del *comfort* ambientale e della riduzione degli impatti conservativi**. Riqualificazione dei locali conservativi, di consultazione ed espositivi (vedi Capitolo 3). Cadenza di controlli in relazione alle caratteristiche della struttura e ai punti di maggiore vulnerabilità. Predisposizione di un "Piano di manutenzione" (ambito: "Conservazione programmata"*** – D.Lgs. 42/2004, strategia in cui la pianificazione delle attività mantenute costituisce un fondamentale tassello ad assicurare funzionalità e conservazione di struttura/involucro edilizio).
Temperatura e umidità relativa inadeguate	Condizionamento ambientale passivo o attivo a T e UR controllate (sistemi di controllo in tempo reale) e stabili nel tempo in base al bene conservato (vedi Capitoli 4 e 10). Verifica dell'efficienza di impianti e dispositivi allestiti per il mantenimento dei valori di T e UR predisposti.
Radiazioni luminose (UV, IR)	Esclusione di radiazioni UV e IR. Illuminazione idonea regolamentata con sorgenti di luce prive di effetti dannosi: LED e fibre ottiche (vedi Capitolo 5). Conservazione al buio dei materiali. Digitalizzazione/riproduzione secondo criteri adeguati.
Inquinanti** **e contaminanti** Inquinanti chimici e particelle biologiche aerodisperse	Ventilazione con ricircoli/ricambi di aria definiti. Filtrazione dell'aria con utilizzo di filtri ad alta efficienza: HEPA o ULPA, filtri elettrostatici e letti adsorbenti in carbone attivo (vedi Capitolo 6). Efficienza degli impianti.
Particolato depositato	Igiene dei locali conservativi con idonei dispositivi/prodotti. Depolveratura periodica di arredi e contenitori, secondo precisi criteri e con adeguate apparecchiature dotate di appositi filtri ad alta efficienza, ad opera di personale qualificato (vedi Capitolo 6). Depolveratura dei materiali fotografici da parte di restauratori specializzati.
Organismi nocivi - *pests*****: infestanti (artropodi e roditori) e contaminanti (microrganismi: funghi e batteri)	Programma integrato di gestione dei *pests*: *Integrated Pest Management* – IPM. Il programma include: evitare la presenza di infestanti/contaminanti, identificare gli infestanti/contaminanti, valutare i problemi, applicare opportuni metodi di lotta (secondo la EN 16790:2016[54]). Posizionamento di trappole per Artropodi e dispositivi/esche per Roditori (vedi Capitolo 8).
Materiali infestati/contaminati******	Azione di distanziamento dei beni (quarantena/isolamento), sia in giacenza che in ingresso, per prevenire la diffusione di una possibile infestazione/contaminazione. Predisposizione di alloggiamenti separati. Diagnostica mirata e impostazione di opportuni trattamenti di lotta (vedi Capitoli 8 e 10).

Alloggiamenti (arredi, contenitori e involucri) e montaggi non idonei	Scelta di alloggiamenti a norma (vedi Capitoli 11 e 12) valutando le diverse esigenze tecniche di condizionamento anche in virtù della fruizione dell'opera. Adozione di montaggi realizzati secondo criteri conservativi per archiviazione e/o eventi espositivi.
Materiali e metodi per il restauro non idonei	Individuazione di sostanze e materiali idonei, chimicamente stabili, inerti, bioresistenti e poco igroscopici. Definizione di corrette metodologie da utilizzare secondo i principi etici del restauro, nel rispetto dell'integrità storica, fisica ed estetica del bene e della sua funzione nell'istituzione.
Manipolazione e movimentazione, esposizione permanente/ temporanea, non condotte correttamente	Manipolazione corretta da parte di operatori e utenti con utilizzo di specifici DPI a seconda dei materiali[55]. Movimentazione regolamentata (cfr. tab. 1.3). Di riferimento: UNI EN 15946:2011 e UNI EN 16648:2015[56]. Preparazione di eventi espositivi con criteri conservativi[57]. Compilazione di schede di movimentazione/prestito (*condition report*)[58] per registrare: condizioni dell'opera nelle varie fasi del prestito, modalità di movimentazione/trasporto e modalità di allestimento. Accesso regolamentato.
Calamità naturali di tipo: geofisico (sismi/vulcanismo), metereologico (uragani, tornado, alluvioni ecc.), idrogeologico (frane, smottamenti), climatologico (incendi, ondate di calore ecc.) ecc.	Redazione di un "Piano di emergenza"******* al fine di garantire tutela e conservazione del patrimonio culturale che tenga conto di tutti gli aspetti connessi alla sicurezza del patrimonio e delle loro reciproche interferenze. Serve ad affrontare con azioni adeguate e preordinate eventi eccezionali, anche legati al territorio (sito dell'edificio), come previsto dalla Circolare M*i*BAC n.132/2004 (su definizione del D.Lgs. n. 42/2004) (cfr. tab. 1.3). Di riferimento anche le Direttive M*i*BACT del 23 aprile 2013[59] e 12 dicembre 2013 con strumenti schedografici allegati[60] (vedi scheda inserita nella documentazione prevista dall'Unità di Crisi-M*i*BACT e disciplinare operativo beni mobili[61]).
Azioni dolose (furti, atti vandalici, terrorismo ecc.)[62]	Allestimento di dispositivi di protezione/allarme antintrusione/antieffrazione collegati alla polizia o ad un centro di sorveglianza (durante i periodi di apertura e chiusura). Monitoraggio dei sistemi di sicurezza. Allestimento di eventuali finestre non apribili e dotate di vetri di sicurezza. In caso di finestre accessibili predisposizione di grate di protezione. Predisposizione di controllo e vigilanza come previsto dalle Circolari n. 155/2008 e n. 1/2015[63]. Regolamentazione dell'accesso nelle sale di consultazione.

* Gli agenti indicati costituiscono fattori di deterioramento e rappresentano un elemento di rischio (probabilità che un evento avverso causi un danno) (vedi Capitolo 13).
** Una analisi dell'edificio (storica, conservativa, funzionale, gestionale, tecnologica), una diagnosi energetica strumentale, un monitoraggio ambientale, forniscono informazioni utili per valutare il comportamento energetico/ambientale degli edifici storici.
*** Conservazione programmata: messa a punto da Urbani si afferma mentre nel settore museale emerge la conservazione preventiva proposta da de Guichen.
**** Si devono considerare anche gli inquinanti provenienti dai componenti fotografici.
***** Nella EN 16790:2016, i *pests*, comprendono oltre agli infestanti anche i microrganismi. Si farà riferimento a questa linea guida nel Capitolo 8.
****** La contaminazione indica la presenza di microrganismi sui/nei materiali con rischio per i manufatti (termine desunto dalla norma sopracitata).
******* In merito vedi anche: "Patrimonio Culturale a rischio. Evacuazione in emergenza delle collezioni", UNESCO, ICCROM, ICOM Italia, 2021 e "Linee guida per l'individuazione, l'adeguamento, la progettazione e l'allestimento di depositi per il ricovero temporaneo di beni culturali mobili", MiC, 2022 (vedi § 3.3).

Il programma integrato di prevenzione che si basa, quindi, sul riconoscimento degli agenti di deterioramento/rischio individuati, deve descrivere modalità e interventi connessi all'ambiente, agli alloggiamenti, all'immagazzinamento, all'accesso, alla manipolazione/movimentazione, alle esposizioni ecc. Deve basarsi inoltre sulla stima dei costi previsti. In fase di pianificazione è fondamentale identificare provvedimenti e azioni realisticamente attuabili, sia nell'immediato sia nel futuro, tenendo conto delle risorse umane ed economiche disponibili[64].

Uno studio accurato dell'edificio e delle collezioni e una valutazione dei fattori di rischio, come prima specificato, consente di conoscere lo stato e le condizioni dei beni e permette di identificarne i bisogni. La valutazione consente di individuare le priorità di intervento, le proposte di trattamento e la stima dei tempi necessari alla loro realizzazione. Tutte le fasi devono essere condotte da conservatori specializzati per gli specifici materiali da proteggere.

Nel piano integrato proposto in tab. 1.4, sono stati considerati anche quegli interventi e quelle attività destinati al controllo degli ambienti di conservazione e individuabili come manutenzione (art. 29 del Codice), rivolta generalmente ai beni culturali edificati. Inoltre, sono stati considerati quegli interventi diretti sui manufatti quali: l'utilizzo di contenitori e montaggi protettivi idonei e quella parte di attività incluse nella gestione integrata dei *pests* – IPM (operazioni di depolveratura, interventi di controllo in caso di infestazioni come ad esempio le atmosfere modificate), oltre alla verifica di tutti gli impianti e dispositivi/sistemi anche legati alla sicurezza (sistemi di allarme, sistemi antincendio ad allarme e automatici ecc.) presenti nei locali conservativi. Nel piano altresì è stata inclusa la voce relativa ai materiali e ai metodi da scegliere per l'esecuzione di interventi di restauro che di fatto sono individuabili propriamente come restauro (art. 29 del Codice).

Per una più completa comprensione del concetto di rischio e delle implicazioni connesse alla sua gestione, si rimanda al Capitolo 13 dedicato all'apporto del *Risk Management* nella gestione delle numerose problematiche conservative affrontate dalla varie istituzioni sia pubbliche che private. In tale ambito, verranno presi in considerazione i modelli per gestire il rischio e gli elementi utili per la sua valutazione, ivi compresi gli agenti di deterioramento proposti dai *conservation scientists* Stefan Michalski e Robert Waller[65] negli anni Novanta e adottati dalla comunità internazionale.

Quindi, riassumendo, un corretto piano di conservazione preventiva che possa durare nel tempo si può concretizzare solo attraverso: la conoscenza del sito, dell'edificio e delle collezioni, il reperimento e la gerarchizzazione dei rischi, l'analisi puntuale delle fonti di rischio, la definizione delle priorità di intervento in rapporto alla sensibilità delle collezioni[66].

La redazione di un programma di conservazione preventiva rappresenta anche l'occasione più adatta per:

- individuare gli originali per i quali si ritiene appropriata una conservazione a lungo termine (>100 anni) cui dedicare le maggiori risorse e le tecnologie più avanzate;
- riconoscere i materiali da conservare a breve o medio termine in condizioni comunque adeguate ma meno rigorose;
- definire quali e quante riproduzioni (secondo linee guida e standard) effettuare a fini conservativi, espositivi ecc.;
- determinare la necessità di approntare nuovi depositi, o adeguare i preesistenti, da corredare con idonei alloggiamenti, condizioni climatiche idonee, misure di sicurezza anche diversificate (ad esempio per

conservare in segregazione materiali instabili quali acetati, nitrati, colore e/o pericolosi come i nitrati);
- disciplinare procedure per accesso alle opere e modalità di consultazione;
- affrontare problematiche emergenti, come ad esempio quelle legate alla conservazione di nuovi supporti (in un'epoca sempre più digitale ed effimera, conservare la memoria è una sfida sempre stimolante, difficile e aperta);
- affrontare problemi derivanti dall'implementazione delle raccolte, predisporre spazi adeguati per "quarantene" e nuove acquisizioni.

Nicolas Barker, conservatore capo della British Library di Londra, nel 1980, in occasione del corso intensivo europeo "La conservazione dei documenti d'archivio e di biblioteca" affermava[67]:

> «[...] gli agenti che provocano il deterioramento sono di gran lunga più potenti degli agenti impiegati per la conservazione. La preservazione o la meta più modesta di arrestare il corso del deterioramento, può essere raggiunta solo attaccando gli agenti alla fonte e non aspettando che il materiale sia diventato un "caso" per la conservazione».

Ad oggi questa battaglia non è vinta, è necessario ancora un notevole impegno per svegliare molte coscienze e far diffondere e affermare il principio che investire in conservazione, ma soprattutto in prevenzione, alla lunga conviene.

1.5 I professionisti della conservazione

Mentre molte professioni sono diventate estremamente circoscritte, la conservazione preventiva si è evoluta per diventare uno dei campi più interdisciplinari per preservare i beni; la formazione di personale altamente qualificato e di specialisti in ambito conservativo si rivela dunque fondamentale. Molto sforzo deve essere rivolto per far si che addetti al settore possano acquisire quelle competenze teoriche e metodologiche essenziali, nell'ottica di favorire migliori condizioni di tutela, valorizzazione e fruizione delle collezioni. Attivare corsi specifici di conservazione preventiva assume una notevole rilevanza ai fini della costruzione di un linguaggio comune e condiviso, creando l'occasione di integrare efficacemente saperi e competenze specifiche di ciascuna delle singole discipline coinvolte. Negli ultimi tempi la necessità di figure professionali attive nell'ambito della conservazione preventiva, in grado di dialogare con i vari tecnici professionisti, si sta evidenziando sempre di più.

La legge 22 luglio 2014, n. 110, ha finalmente introdotto nel Codice del 2004 anche le figure dei restauratori di beni culturali, dei collaboratori restauratori di beni culturali e degli esperti di diagnostica e di scienze e tecnologia applicate ai beni culturali.

Questo riconoscimento avviene con la "Modifica al Codice dei beni culturali e del paesaggio, di cui al D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, in materia di professionisti dei beni culturali, e istituzione di elenchi nazionali dei suddetti professionisti". Esattamente l'art. 1 recita:

> «Introduzione dell'articolo 9-bis del codice di cui al decreto legislativo 22

gennaio 2004, n. 42, in materia di professionisti competenti ad eseguire interventi sui beni culturali.

1. Nella parte prima del codice dei beni culturali e del paesaggio, di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, dopo l'articolo 9 è aggiunto il seguente:

Art. 9-bis. – (Professionisti competenti ad eseguire interventi sui beni culturali). – 1. In conformità a quanto disposto dagli articoli 4 e 7 e fatte salve le competenze degli operatori delle professioni già regolamentate, gli interventi operativi di tutela, protezione e conservazione dei beni culturali nonché quelli relativi alla valorizzazione e alla fruizione dei beni stessi, di cui ai titoli I e II della parte seconda del presente codice, sono affidati alla responsabilità e all'attuazione, secondo le rispettive competenze, di archeologi, archivisti, bibliotecari, demoetnoantropologi, antropologi, fisici, restauratori di beni culturali e collaboratori restauratori di beni culturali, esperti di diagnostica e di scienze e tecnologia applicate ai beni culturali e storici dell'arte, in possesso di adeguata formazione ed esperienza professionale.»

Il D.M. 244 del 20 maggio 2019 (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 124 del 29 maggio 2019: "Definite le competenze e le conoscenze della figura professionale dell'esperto di diagnostica e di scienze e tecnologia applicate ai beni culturali"), regolamenta poi la procedura per la formazione degli elenchi nazionali dei professionisti dei beni culturali, individuando i requisiti necessari ai nuovi professionisti del settore culturale per essere abilitati all'intervento sui materiali ai sensi della legge n. 110.

Per quanto riguarda invece i restauratori, è stato pubblicato un elenco dei nominativi abilitati all'esercizio della professione di restauratore di beni culturali, ex art. 182 ed ex art. 29 del D.Lgs. del 22 gennaio 2004 n. 42, con i vari settori di competenza.

Ma chi è deputato ad operare nella conservazione preventiva? Lo scienziato della conservazione, tradotto letteralmente dall'inglese: il *conservation scientist.* Questa figura, che ha una precisa connotazione in ambito internazionale, opera insieme al conservatore – *conservator* (vale a dire il restauratore-conservatore) e al curatore – *curator*, ed è deputata ad effettuare studi tecnici sugli oggetti delle collezioni/raccolte e a determinare i trattamenti conservativi e le condizioni ambientali più idonee (dominio della conservazione preventiva) sia per i locali di deposito che per le sale espositive.

La scienza della conservazione, in quanto disciplina nata soltanto negli ultimi decenni, non ha un campo di studio consolidato come nel caso delle discipline scientifiche tradizionali (fisica, chimica o scienza dei materiali), né può essere classificata come una loro sottodisciplina. La ricerca relativa alla conservazione comprende studi sul comportamento e la stabilità dei materiali costituenti e lo sviluppo di materiali e metodologie per contrastare, o almeno per mitigare, il deterioramento delle opere. Quest'ultima attività rappresenta in qualche modo il fine ultimo della scienza della conservazione, mentre le attività che portano alla comprensione di un'opera concorrono alla sua successiva tutela e valorizzazione.

Nell'ambito della formazione, quindi, la conservazione preventiva del patrimonio è stata inserita sotto forma di moduli teorici minori all'interno di percorsi di laurea di diverse università.

In Italia, infatti, non esistono ancora veri e propri corsi universitari dedicati e i principi della disciplina rientrano a vario titolo nei percorsi formativi della Laurea Triennale (L43) in "Conservazione e Restauro dei beni culturali" e Magistrale (LM11), abilitanti rispettivamente alla professione di "Collaboratore Restauratore di beni culturali" e di "Esperto di diagnostica e di scienze e

tecnologia applicate ai beni culturali".

Nell'Allegato 6 del D.M. 244, l'esperto di diagnostica e di scienze e tecnologia applicate ai beni culturali, afferente alla figura del *conservation scientist*, viene così definito:

> «0.2 Compiti e attività specifici della figura professionale dell'Esperto di Diagnostica e di Scienze e Tecnologia applicate ai Beni Culturali.
>
> L'Esperto di Diagnostica e di Scienze e Tecnologia applicate ai Beni Culturali (afferente in ambito internazionale alla figura del *conservation scientist*) svolge attività di ricerca, analisi e interpretazione dei dati relativi alla materia costitutiva dei beni culturali, ai processi di degrado della stessa, all'interazione dell'ambiente (sia di rinvenimento che di conservazione) con il bene culturale, alle tecniche di costruzione e allo stato di conservazione; Collabora inoltre con le altre figure partecipi dell'intervento conservativo alla definizione dei materiali più idonei per l'esecuzione degli interventi di restauro e alla fase di manutenzione; monitora l'efficacia dell'intervento di restauro e lo stato di conservazione nel tempo (così come può essere letto nel sito dedicato della Direzione Generale Educazione, ricerca e istituti culturali del M*i*BACT).»

Nel 2012 è stato istituito un Master di II livello al Politecnico di Milano in "Conservazione preventiva e programmata per la valorizzazione del patrimonio culturale", volto a curare metodologia e prassi della gestione dei processi di conservazione del patrimonio storico architettonico. Il master è realizzato dall'Unità di Ricerca in Governance, Progetto e Valorizzazione dell'Ambiente Costruito, che svolge la sua attività presso il Dipartimento BEST (Building & Environment Sciences & Technology) del Politecnico di Milano e presso il Laboratorio TEMA (Technology Environment & Management) del Polo Territoriale di Mantova. La Galleria Nazionale d'Arte Moderna e Contemporanea, insieme all'Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, DiSPeA – Scuola di Conservazione e Restauro, ha invece organizzato, nel 2018, una Winter School: "Conservazione preventiva: una strategia consapevole per la salvaguardia dei beni culturali".

In ambito europeo sono disponibili programmi specifici come il Master in "Conservazione Preventiva" del Corso di studi in Histoire de l'art et Archéologie (UFR 03), Sciences Humaines et Sociales dell'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne di Parigi e offerti due percorsi di formazione post-laurea all'interno della Facoltà di Scienze Umane. Il master di un anno può essere completato frequentando un secondo anno per ottenere un diploma specialistico in materia. Grande importanza riveste la formazione in conservazione preventiva nel Regno Unito con il corso "Care of Collections (MSc)" presso la Cardiff University di un anno post-laurea, il MA (Master of Arts) in "Preventive Conservation" alla Northumbria University nel Newcastle.

Sempre in Europa è attivo il master della durata di due anni in "Conservation and Restoration of Cultural Heritage" ad Amsterdam, alla State Training School for Conservators integrata all'University of Amsterdam. Dopo il Master, si può passare ad un programma professionale avanzato di due anni con la possibilità di completare il percorso con uno o più stage al fine di raggiungere il livello internazionale richiesto per lavorare come conservatore professionista indipendente, nel proprio campo di specializzazione.

Negli Stati Uniti un esempio di specializzazione in tale ambito è dato dall'University of Delaware a Newark – Department of Art Conservation, ove dopo il primo anno di studi si può optare per l'orientamento nel settore della conservazione preventiva.

1.6 La sostenibilità ambientale nella conservazione preventiva

Nel contesto attuale la conservazione del patrimonio culturale non può non tener conto della questione dello sviluppo sostenibile, la cui condivisa definizione è stata formulata nel 1983 dalla Commissione Mondiale su Sviluppo e Ambiente. Istituita nell'ambito dell'ONU, la Commissione, presieduta dall'allora premier norvegese Gro Harlem Brundtland, ha elaborato (1987) il noto "Rapporto Brundtland" e formulato questa definizione che di fatto è la più conosciuta: «Lo sviluppo sostenibile è quello che provvede al soddisfacimento dei bisogni delle generazioni presenti senza compromettere la possibilità di soddisfacimento dei bisogni di quelle future.»[68]

Il parametro della sostenibilità comporta che si tenga conto dei costi economici globali, immediati e futuri e che si consideri lo sviluppo non più esclusivamente come crescita economica quantitativa, bensì come processo qualitativo in termini di costi ambientali e umani.

La pubblicazione di "Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living", a cura di International Union for Conservation of Nature – IUCN, United Nations Environment Programme – UNEP e World Wide Fund for Nature – WWF, nel 1991, fornisce un'ulteriore definizione dello sviluppo sostenibile inteso come: «Il soddisfacimento della qualità della vita, mantenendosi entro i limiti della capacità di carico degli ecosistemi che ci sostengono».

Le due definizioni danno assieme una chiara comprensione del concetto di sviluppo sostenibile inteso come beneficio per le persone e per gli ecosistemi.

La quarta conferenza mondiale sull'ambiente, il più grande incontro intergovernativo della storia, organizzato dall'ONU, noto come "Earth Summit", svoltosi a Rio De Janeiro nel 1992, con la partecipazione di più di 100 leader mondiali, ha segnato un importante passaggio storico nella consapevolezza del problema ambientale planetario. Il "World Summit on Sustainable Development – WSSD" di Johannesburg, del 2002, ha ampliato il significato riconoscendo nel concetto di sviluppo sostenibile tre componenti interconnesse: sostenibilità economica, sostenibilità sociale e sostenibilità ecologica.

Il concetto sintetizza dunque un problema di grande complessità e cioè come rendere compatibili le esigenze dell'economia con le ragioni dell'ambiente a livello dell'intero Pianeta[69]. Nel 2012 le Nazioni Unite hanno scelto nuovamente Rio de Janeiro come sede per "Rio 2012" o "Rio+20"; la conferenza, tenutasi in occasione dei 20 anni del "Summit della Terra", ha rappresentato il completamento di una serie di riunioni tenute dalle Nazioni Unite. Il Summit è stato il perno centrale, ponendo lo sviluppo sostenibile come priorità dell'agenda delle Nazioni Unite e della Comunità Internazionale.

La conservazione del patrimonio, che risulta essere una tematica di grande importanza, nel "Code de déontologie de l'ICOM pour les musées" (2004)[70] al punto 2.18, dal titolo "Permanence des collections", viene definita come:

> «*La politique du musée doit faire que les collections (permanentes et temporaires) et leurs informations associées, correctement consignées, soient transmises aux générations futures dans les meilleures conditions possibles, compte tenu des connaissances et des ressources disponibles.*»

Dalla traduzione degli autori:

> «La politica del museo deve far sì che le collezioni (permanenti e temporanee) e le loro informazioni associate, correttamente consegnate, siano tras-

> messe alle generazioni future nelle migliori condizioni possibili, tenendo conto delle conoscenze e delle risorse disponibili.»

La trasmissione alle generazioni future è il tema presente in entrambe le definizioni. Il nostro Pianeta sta fronteggiando un numero crescente di sfide e incertezze e, come risposta, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha adottato, nel settembre del 2015, il documento dal titolo: "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development". Il programma d'azione è composto da 17 obiettivi ambiziosi e universali per trasformare la Terra; i Paesi membri dell'ONU si sono impegnati a raggiungerli entro il 2030 con il massimo coinvolgimento per portare il mondo sulla strada della sostenibilità. In particolare nell'Obiettivo numero 11: "Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili", al punto 11.4 viene indicato di "Potenziare gli sforzi per proteggere e salvaguardare il patrimonio culturale e naturale del mondo".

Per la prima volta la cultura è stata inclusa fra gli obiettivi più importanti ed è stata riconosciuta come vettore di sviluppo economico, sociale e ambientale. La cultura è al centro dell'umanità, plasma i valori, le speranze e le interazioni degli individui e consente di integrare economia, società e ambiente. Tra i promotori di questa missione vi è l'ICCROM che lavora su ogni fronte per il raggiungimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite: "Sustainable Development Goals" (SDGs)[71] .

A tal proposito, nel tragico frangente della pandemia da SARS-CoV-2, emergenza che ha impegnato (ed ancora è lontana dall'essere debellata) tutte le nazioni in uno sforzo senza precedenti, l'ICOMOS – International Council on Monuments and Sites e i partners della campagna "Culture 2030 Goal", hanno rilasciato il 20 aprile 2020 la dichiarazione dal titolo: "Culture and the COVID-19 Pandemic", firmata dal movimento "ObjectifCulture2030", per difendere il ruolo della cultura. La dichiarazione, inserita come impegno per l'Agenda 2030, sottolinea che, con il mondo di fronte alla pandemia e con la necessità di ricostruire un domani le società, la cultura, come già asserito, dovrebbe essere al centro della risposta portando ispirazione, conforto e speranza nella vita delle persone[72]. Si verrebbe così a costituire il IV pilastro dello sviluppo sostenibile al fianco di ambiente, sviluppo economico e solidarietà sociale.

Ritornando alla tematica indicata nel paragrafo, ci si chiede in che maniera sviluppo sostenibile e conservazione preventiva si coniugano?

Si identificano nell'impegno di attuare pratiche attente all'insegna del rispetto dell'impatto ambientale e di fatto si assiste alla continua sensibilizzazione da parte dei governi nel tener conto della sostenibilità nei vari processi decisionali. A volte alcune azioni potrebbero sembrare in opposizione ad una buona politica conservativa, come ad esempio cercare di risolvere il problema del microclima di un ambiente *indoor* con metodi passivi, piuttosto che con impianti comportanti costi elevati in termini economici ed energetici. Del resto, tra gli obiettivi del Protocollo di Kyōto, accordo internazionale sottoscritto nel 1997 (in occasione della Conferenza delle Parti "COP3"), da più di 180 Paesi per contrastare il riscaldamento climatico, ed entrato in vigore nel 2005, vi sono l'aumento dell'efficienza energetica e la riduzione del consumo energetico.

Numerose ricerche, svolte da varie istituzioni specializzate in questo campo, suggeriscono soluzioni semplici dove ecologia e conservazione riescono ad armonizzarsi e a sostenere gli obiettivi globali dello sviluppo sostenibile. Come infatti scrive Frédérique Vincent, restauratrice e consulente in conservazione

preventiva[73], nel saggio "Conservation préventive et développement durable":

> «*[…] la réflexion en conservation s'oriente de plus en plus vers des solutions en adéquation avec le développement durable et le respect de l'environnement […]. Les bâtiments deviennent économes en consommation d'énergie (basse consommation ou «zéro énergie») ou même à énergie positive c'est-à-dire qu'ils produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment pour leur fonctionnement. Dans cette perspective, l'architecte agit sur l'économie des énergies (eau, électricité, gaz…), l'amélioration de l'inertie du bâtiment et de la stabilité climatique par l'isolation et l'étanchéification, le choix de matériaux de construction et leur recyclage, l'emploi de procédés de construction adaptés, l'utilisation de matériaux de finition (peintures, revêtements…) durables et non polluants, la mise en place d'équipements de détection systématiques (feu, inltrusion-vol, inondations, insectes…), […] une répartition des collections dans les différents espaces adaptée à leur sensibilité (les plus fragiles dans les espaces les plus stables) […]. Ainsi, la mutualisation d'un lieu et de ressources humaines, financières et techniques pour des institutions différentes, la recherche de stabilité thermique pour assurer la conservation des collections tout en limitant la consommation d'énergie, la démarche d'empreinte écologique basse passant par le choix des matériaux et la formation des ouvriers, et un bâtiment modulable en prévision du futur sont autant d'éléments risques, l'acceptation de conditions de conservation adaptées à la situation […] l'emploi au plus juste des ressources sont autant de principes à mettre en place si l'on souhaite réunir les objectifs de la conservation et ceux du développement durable*».

Tradotto così dagli autori:

> «[...] la riflessione in conservazione è sempre più orientata verso soluzioni in linea con lo sviluppo sostenibile e il rispetto per l'ambiente [...]. Gli edifici diventano efficienti dal punto di vista energetico (basso consumo energetico o "energia zero") o addirittura energia positiva, ovvero producono più energia di quella che consumano per il loro funzionamento. In questa prospettiva, l'architetto agisce sull'economia dell'energia (acqua, elettricità, gas...), sul miglioramento dell'inerzia dell'edificio e sulla stabilità climatica mediante l'isolamento e la sigillatura, sulla scelta dei materiali da costruzione e sul loro riciclo, sull'uso di processi di costruzione adeguati, sull'uso di materiali di finitura durevoli e non inquinanti (vernici, rivestimenti, ...), sull'installazione di apparecchiature di rilevamento sistematiche (incendio, intrusione, inondazioni, insetti...), […] una distribuzione delle collezioni nei diversi spazi adattati alla loro sensibilità (il più fragile negli spazi più stabili) [...]. Pertanto, la messa in comune di un luogo e risorse umane, finanziarie e tecniche per diverse istituzioni, la ricerca della stabilità termica per assicurare la conservazione delle collezioni limitando il consumo di energia, l'approccio a basso impatto ambientale attraverso la scelta dei materiali e la formazione dei lavoratori, e un edificio modulare in previsione del futuro sono tutti fattori di rischio, l'accettazione delle condizioni di conservazione adeguate alla situazione [...] l'uso più appropriato delle risorse sono altrettanti principi da attuare se si vuole raggiungere gli obiettivi della conservazione e quelli dello sviluppo sostenibile».

Come sottolineano Kathleen Dardes, del Getty Conservation Institute, e Sarah Staniforth, nel secondo decennio del ventunesimo secolo è stata riconosciuta la necessità di riconsiderare politiche e pratiche ambientali per le collezioni come parte dell'impegno per la sostenibilità, compreso il ridotto consumo di risorse energetiche. La questione dei requisiti ambientali è complessa e ci si sta orientando verso una gamma più ampia di livelli accettabili di temperatura e umidità relativa da predisporre per gli ambienti che ospitano grandi collezioni. Il grado di rischio a cui possono essere soggetti i materiali igroscopici è attualmente tra le questioni più dibattute

in materia di conservazione e dunque approcci sostenibili dal punto di vista ambientale ed economico per la conservazione preventiva costituiranno per il prossimo futuro una delle sfide più importanti. Nel campo della conservazione, l'idea di un ambiente ideale ove alloggiare le collezioni è stata sostituita dal concetto di un ambiente adeguato. Dati i costi onerosi per installazione, manutenzione e funzionamento di sistemi meccanici ad alta tecnologia per raffreddamento e deumidificazione, gli studi attuali stanno esaminando alternative ai sistemi convenzionali di condizionamento dell'aria come la fattibilità del controllo dell'umidità relativa elevata con una combinazione di deumidificazione, ventilazione e circolazione dell'aria. Mentre la ricerca è essenziale per una migliore comprensione dei materiali e della loro conservazione, la conservazione preventiva, come ricerca applicata, usa le conoscenze scientifiche al fine di porre le basi per politiche e pratiche che contribuiscano a creare ambienti di raccolta sicuri[74].

Un cenno infine va dedicato al Metodo RE-ORG, che si basa su un approccio finalizzato a supportare chi lavora con le collezioni culturali, costituendo una guida alla riorganizzazione dei depositi museali improntata sulla sostenibilità. Sviluppato dall'ICCROM e dal Canadian Conservation Institute, nel 2017, il metodo è stato applicato in oltre 145 musei in tutto il mondo tramite workshop pratici, sessioni di tutoraggio e formazione online[75].

Concludendo, la questione della sostenibilità ambientale è diventata una preoccupazione sempre più rilevante per i professionisti del patrimonio culturale. Ogni intervento da attuare nell'ambito di un programma di conservazione preventiva deve essere attentamente progettato da conservatori esperti e valutato in accordo con i principi dell'ecosostenibiltà. Oggi, più che mai, questi principi devono costituire la direzione obbligatoria da intraprendere per non modificare i delicati equilibri terrestri e per non impegnare inutilmente risorse economiche.

Note bibliografiche

[1] G. De Guichen, *Introduzione alla conservazione preventiva*, in *La conservazione Preventiva delle Raccolte Museali. Servizi e Professionalità Nuove per la Tutela*, Atti del Convegno Internazionale Ferrara 1999, C. Menegazzi, I. Silvestri (eds.), Kermes quaderni, Firenze, Nardini Editore, 2003, pp. 13–18; G. De Guichen, *Politiques de conservation: les mots et les choses*, in *CeROArt [Online]*, 8, 2012, DOI: 10.4000/ceroart.2792.

[2] G. De Guichen, *Défi à la profession*, in *Museum*, XXXIV, 1, 1982, pp. 4–5.

[3] G. De Guichen 2003, *op. cit.*

[4] D. Guillemard, C. Laroque, *Manual de Conservation Préventive: Gestion et Contrôle des Collections*, 2 ed., Dijon, OCIM-DRAC Bourgogne, 1999, pp. 7–10; G. Cirocchi, *Progettare la conservazione in Biblioteca*, Biblioteca Nazionale Centrale di Roma, Seminari in Biblioteca giugno 2007, pp. 1–41, da: http://slideplayer.it/slide/10213486/ (consultato il 16/06/2022); ICOM-CC, *Terminologie de la conservation-restauration du patrimoine culturel matériel*, Résolution adoptée par les membres de l'ICOM-CC à l'occasion de la XV Conférence triennale New Delhi, 22–26 septembre 2008, pp. 1–2, da: https://journals.openedition.org/ceroart/2795?file=1 (consultato il 15/06/2022).

[5] G. de Guichen 2012, *op. cit.*; ICOM Italia, *Allegato 2, Risoluzione adottata da ICOM-CC alla 15ª Conferenza Triennale di New Delhi, 22-26 settembre 2008 e ratificata alla 22ª Assemblea Generale dell'ICOM, Shangai, 2010, Terminologia della conservazione del patrimonio culturale materiale,* Commissione Conservazione – Gruppo Terminologia della Commissione Conservazione di ICOM

Italia, 2020, da: http://www.icom-italia.org/wp-content/uploads/2020/02/ICOMItalia.Traduzione.ICOM-CC.Resolution.TerminologyOnConservation.pdf (consultato il 16/06/2022);

[6] D.Lgs n. 42/2004, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'Art. 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*, pubblicato nella G.U. n. 45 del 24 febbraio 2004, s.o. n. 28.

[7] F. Bottari, F. Pizzicannella, *L'Italia dei Tesori. Legislazione dei Beni Culturali, Museologia, Catalogazione e Tutela del Patrimonio Artistico*, Bologna, Zanichelli, 2002.

[8] *Ibid.*

[9] S. Cassese, *I beni culturali da Bottai a Spadolini*, in *Rassegna degli Archivi di Stato*, n. 1-3, 1975, pp. 116-142; D.Lgs n. 490/1999, *Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, a norma dell'Art. 1 della legge 8 ottobre, n. 352*, pubblicato nella G.U. n. 302 del 27 dicembre 1999, s.o. n. 229.

[10] M. Guccione, *La conservazione (art. 29)*, in *Aedon*, *Rivista di Arti e Diritto on Line*, 1, 2004, da: www.aedon.mulino.it/archivio/2004/1/art29.htm (consultato il 16/06/2022).

[11] G. Basile, *La conservazione attraverso il controllo e la manutenzione programmata*, in *I Beni Culturali*, II, 6, 1994, pp. 49-54.

[12] Il portale di arte e restauro, *Carte del Restauro*, 2019, da: http://www.inforestauro.org/ (consultato il 16/06/2022).

[13] *Ibid.*

[14] A. Gallo, *Il R. Istituto di Patologia del Libro in Roma*, quindicesima dispensa, Roma, Istituto Nazionale per le Relazioni Culturali con l'Estero, 1939-XVIII.

[15] E. Vaccaro, *I fondamenti scientifici del restauro e la funzione dell'Istituto di patologia del libro*, in *Bollettino dell'Istituto di Patologia del Libro Alfonso Gallo*, XXVI, 1967, pp. 89-99.

[16] C. Brandi, *Cosa debba intendersi per restauro preventivo*, in *Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro*, 27-28, 1956, pp. 87-92 (ripubblicato in *Teoria del restauro*, Roma, Edizioni di Storia e Letteratura, 1963).

[17] C. Menegazzi, *La conservazione preventiva: storia e contenuti di una nuova disciplina*, in *La Conservazione Preventiva delle Raccolte Museali. Servizi e Professionalità Nuove per la Tutela*, Atti del Convegno Internazionale Ferrara 1999, C. Menegazzi, I. Silvestri (eds.), Kermes quaderni, Firenze, Nardini Editore, 2003, pp. 9-11.

[18] F. Rawlins, *The National Gallery in war-time*, in *Nature*, 151, 3822, 1943, pp. 123-128; J. Weaver, G. Stout, P. Coremans, *The Weaver report on the cleaning of pictures in the National Gallery*, in *Museum*, 3, 1950, pp. 113-135; G. Thomson, *The Museum Environment*, 2 ed., Oxford, Butterworth-Heinemann Ltd., 1994.

[19] G. De Guichen 2003, *op. cit.*

[20] J. Reifsnyder, *Verso una strategia europea per la conservazione preventiva dei beni culturali*, in *Kermes*, XV, 47, 2002, pp. 67-70.

[21] D.Lgs n. 112/1998, *Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59*, pubblicato nella G.U. Ufficiale n. 92 del 21 aprile 1998, s.o. n. 77 (Rettifica G.U. n. 116 del 21 maggio 1997).

[22] M*i*BAC, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei* (art. 150, comma 6, D.Lgs n. 112/1998), Elaborato del Gruppo di Lavoro (D.M. 25/07/2000), (G.U. n. 244 del 19 ottobre 2001, s.o. n. 238).

[23] I. Silvestri, *Presentazione del Convegno*, in *La Conservazione Preventiva delle Raccolte Museali. Servizi e Professionalità Nuove per la Tutela*, Atti del Convegno Internazionale Ferrara 1999, C. Menegazzi, I. Silvestri (eds.), Kermes quaderni, Firenze, Nardini Editore, 2003, pp. 7-8; C. Menegazzi 2003, *op. cit.*

[24] M. Cassar, *La gestione delle raccolte e la conservazione preventiva,* in *La Conservazione Preventiva delle Raccolte museali. Servizi e Professionalità Nuove per la Tutela*, Atti del Convegno Internazionale Ferrara 1999, C. Menegazzi, I. Silvestri (eds.), Kermes quaderni, Firenze, Nardini Editore, 2003,

pp. 19–28.

[25] E.P. Adcock, *IFLA Principles for the Care and Handling of Library Material*, with the assistance of M.-T. Varlamoff, V. Kremp, International Federation of Library Association and Institutions – Core Programme on Preservation and Conservation, Council on Library and Information Resources, 2015, pp. 1–71, da: http://webdoc.gwdg.de/ebook/aw/1999/ifla/pchlm.pdf (consultato il 15/06/2022).

[26] C. Menegazzi 2003, *op. cit.*

[27] A. Garlandini, *La carta nazionale delle professioni museali, genesi, risultati, prospettive*, in *Museologia Scientifica, Nuova Serie*, 1, 2007, pp. 129–139; ICOM–International Council of Museums–Comitato Nazionale Italiano, *Carta nazionale delle professioni museali*, 2008, pp. 1–35, da: http://www.icom-italia.org/wp-content/uploads/2018/07/ICOMItalia.CartaNazionaleProfessioniMuseali.2005-2006.pdf (consultato il 15/06/2022).

[28] A. D'Addario, *Documenti conservati negli archivi*, in *Bollettino dell'Istituto Centrale per la Patologia del Libro Alfonso Gallo*, XXXVI, 1980, pp. 37–42.

[29] G. De Guichen 2003, *op. cit.*

[30] L. Masetti-Bitelli, R. Vlahov, *La Fotografia: 1. Tecniche di Conservazione e Problemi di Restauro*, Bologna, Edizioni Analisi, 1987.

[31] E. Rizzo, *La Fotografia come Bene culturale*, ArteRicerca, 2020, da: http://www.artericerca.com/fotografia/la%20fotografia%20come%20bene%20culturale.html (consultato il 16/06/2022).

[32] A. Piraccini, *Il Restauro fra Metodo e Prassi: Materiali di Lavoro del Corso Regionale di Aggiornamento 1978*, Bologna, Assessorato alla Cultura Regione Emilia-Romagna, 1980.

[33] Emilia-Romagna biblioteche, archivi, *Scripta Volant. Il Biodeterioramento dei Beni Culturali: Libri, Documenti, Opere Grafiche*, Emilia-Romagna biblioteche, archivi, 1, Bologna, Analisi, 1986.

[34] S. Lusini, *Fototeche e Archivi Fotografici: Prospettive di Sviluppo e Indagine delle Raccolte*, Convegno Prato, Ridotto del Teatro Metastasio 26–30 ottobre 1992, Comune di Prato, Archivio fotografico toscano, 1996.

[35] G. Benassati, *La Fotografia: Manuale di Catalogazione*, Casalecchio di Reno, Grafis, 1990.

[36] E. Rizzo 2015, *op. cit.*

[37] G. Fioravanti, *Il Centro di fotoriproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato: la conservazione dei file digitali e dei loro supporti*, in *DigItalia*, *Rivista del Digitale nei Beni Culturali*, 1, 2006, pp. 68–73.

[38] E. Klijn, Y. de Lusenet, *In the Picture. Preservation and Digitisation of European Photographic Collections*, Amsterdam, European Commission on Preservation and Access, 2000, pp. 1–73, da: https://ica-new-validation.accelance.net/sites/default/files/WG_2000_PAAG-in-the-picture_EN.pdf (consultato il 15/06/2022); E. Klijn, Y. de Lusenet, *SEPIADES, Cataloguing Photographic Collections*, Amsterdam, European Commission on Preservation and Access, 2004, pp. 1–49, https://www.ica.org/sites/default/files/WG_2004_PAAG_SEPIADES-Cataloguing-photographic-collections_EN.pdf (consultato il 15/06/2022); L. Devoti, *La Digitalizzazione per la Salvaguardia degli Archivi e delle Collezioni Fotografiche*, Atti del Workshop, Roma 27–29 ottobre 2003, Roma, ANAI, 2005.

[39] G. Fioravanti, *Introduzione*, in *La Digitalizzazione per la Salvaguardia degli Archivi e delle Collezioni Fotografiche*, Atti del Workshop, Roma 27–29 ottobre 2003, L. Devoti (ed.), Roma, ANAI, 2005; E. Rizzo 2015, *op. cit.*

[40] S. Berselli, L. Gasparini, *L'Archivio Fotografico. Manuale per la Conservazione e la Gestione della Fotografia Antica e Moderna*, Bologna, Zanichelli, 2000.

[41] L. Addison, *Collection Conservation – Preventive Conservation, Preventive Conservation of Photographs*, NGA – National Gallery of Australia, 2020, da: https://nga.gov.au/conservation/prevention/photos.cfm (consultato il 15/09/2021).

[42] L. Masetti-Bitelli, R. Vlahov 1987, *op. cit.*

[43] S. Berselli, L. Gasparini 2000, *op. cit.*

[44] B. Lavédrine, *A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections*, Los Angeles, The

Getty Institute, 2003.

[45] M.B. Bertini, *Prevenire è Meglio che Curare: la Conservazione Preventiva, ovvero come Ottenere i Migliori Risultati Possibili con Risorse Limitate*, Milano, Archivio di Stato di Milano, 2002.

[46] A.M. Marcone, M. Paris, G. Buzzanca, G. Lucarelli, G. Gerardi, A. Giovagnoli, A. Ivone, M.P. Nugari, *Il progetto ICR di manutenzione e controllo della Galleria Doria Pamphilj: schedatura conservativa e monitoraggio ambientale*, in *Bollettino ICR, Nuova Serie*, 2, 2001, pp. 53–65.

[47] A. Criollo, C. Bres, *Évaluation volumetrique d'une collection: l'informatique au service de la conservation préventive,* in *Les Nouvelles Rencontres de la Conservation Préventive*, APrévU Colloque 8-9 juin 2017, Auditorium des Archives Nationales, Pierrefitte-sur-Seine.

[48] M*i*BAC 2001, *op. cit.*

[49] A.M. Marcone *et al.* 2001, *op. cit.*

[50] ICCD, *Scheda Conservativa per i Documenti Fotografici*, D. Matè, D.S. Palazzi (eds.), Gruppo di lavoro ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, giugno 2015, pp. 1–10, da: http://www.iccd.beniculturali.it/getFile.php?id=4072 (consultato il 15/06/2022); ICCD, *Scheda Conservativa Fotografia, versione 2.0*, D. Matè, D.S. Palazzi (eds.), Gruppo di lavoro ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, novembre 2017, pp. 1–14, da: http://www.iccd.beniculturali.it/getFile.php?id=6072 (consultato il 15/06/2022).

[51] Rochester Institute of Technology, Image Permanence Institute, *IPI's Guide to: Sustainable Preservation Practices for Managing Storage Environments*, Rochester, New York, Image Permanence Institute, Rochester Institute of Technology, 2012.

[52] ICOM-International Council of Museums, *Code de Déontologie de l'ICOM pour les Musées*, Conseil international des musées, Paris, 2017, da: http://archives.icom.museum/code2006_fr.pdf (consultato il 16/09/2021).

[53] ICCD, *Scheda Attività Ispettiva – Collezioni Fotografiche ICCD*, D. Matè, D.S. Palazzi, E.J. Shepherd, (eds.), Gruppo di lavoro ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, giugno 2016, pp. 1–12, da: http://www.iccd.beniculturali.it/getFile.php?id=4804 (consultato il 15/06/2022).

[54] EN 16790:2016, *Conservation of cultural heritage – Integrated pest management (IPM) for protection of cultural heritage*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2016.

[55] ICCD, *Linee Guida per la Manipolazione/Movimentazione dei Documenti Fotografici*, D. Matè, D.S. Palazzi (eds.), Gruppo di lavoro ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, luglio 2014, pp. 1–10, da: http://www.iccd.beniculturali.it/getFile.php?id=3068 (consultato il 16/06/2022).

[56] UNI EN 15946:2011, *Conservazione dei Beni culturali – Principi di imballaggio per il trasporto,* Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2011; UNI EN 16648:2015, *Conservazione dei beni culturali – Metodi di trasporto*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2015.

[57] G. Arruzzolo, G. Marinucci, D. Matè, E. Veca, *Esporre Conservando. Indicazioni per Eventi Espositivi di Beni Archivistici e Librari*, collana Architettura, Urbanistica, Ambiente, Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario e Ufficio Nazionale per i Beni Culturali Ecclesiastici della Conferenza Episcopale Italiana (eds.), Roma, Gangemi Editore, 2014.

[58] D.M. 9 febbraio 2005, *Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Procedure, modalità e condizioni per l'assunzione da parte dello Stato della copertura dei rischi, derivanti dal prestito di beni culturali per mostre e manifestazioni*, ai sensi dell'articolo 48, comma 5, del D.Lgs del 22 gennaio 2004, n. 42, recante il «Codice dei beni culturali e del paesaggio» (G.U. n. 78 del 5 aprile 2005).

[59] M*i*BAC, Circolare n. 132 dell'8 ottobre 2004, *Piani di emergenza per la tutela del patrimonio culturale.*

[60] M*i*BACT, Direttiva del 12 dicembre 2013, *Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali*, G.U. n. 75 del 31 marzo 2014, da: https://storico.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1396342272741_Direttiva_12_12_2013.pdf (consultato il 15/09/2021); M*i*BACT, Direttiva

del Ministro dei beni e delle attività culturali e del turismo concernente le procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali, *Allegato 1, Strumenti schedografici*, da: https://storico.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1437986369344_Allegato1_strumenti_schedografici.pdf (consultato il 15/06/2022).

[61] M*i*BAC, *Disciplinare operativo per gli interventi di messa in sicurezza sui beni culturali mobili*, Segretariato generale – Unità di crisi – Coordinamento nazionale UCCN – M*i*BAC.

[62] M*i*BACT, ICOM, NTPC, *La Sicurezza Anticrimine nei Musei*, Roma, De Luca Editori d'arte, 2015.

[63] M*i*BAC, *Circolare n. 155 del 23 luglio 2008 – Misure urgenti per la sicurezza del patrimonio culturale dal rischio di atti vandalici*, da: http://win.unsabeniculturali.it/circolari_mibac_2008/circolare_155_2008.pdf (consultato il 16/09/2021); M*i*BACT, *Circolare n. 1 del 13 gennaio 2015 – Sicurezza del patrimonio culturale: misure preventive*, da: http://lnx.unsabeniculturali.it/it/wp-content/uploads/2015/01/Circ-1_2015.pdf (consultato il 15/06/2022).

[64] G. Cirocchi 2007, *op. cit.*

[65] S. Michalski, *An Overall Framework for Preventive Conservation and Remedial Conservation*, 9th Triennial Meeting, Dresden, 26–31 August 1990, Preprints, Grimstad ICOM, Paris, 1990, pp. 589–590; R. Waller, S. Michalski, *A paradigm shift for preventive conservation, and a software tool to facilitate the transition*, ICOM Committee for Conservation, Preprints of the 14th Triennial Meeting, vol. II, London, James & James, pp. 733–738, 2005; S. Michalski, *Préservation des collections*, in *Comment gérer un musée: Manuel pratique*, ICOM (ed.), Paris, ICOM, 2006, pp. 51–90.

[66] E. Féau, N. Le Dantec, *Vade-mecum de la Conservation Préventive*, Département Conservation préventive, Document élaboré en 2005, version du 18 novembre 2013, Paris, Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF), da: https://c2rmf.fr/sites/c2rmf.fr/files/vademecum_cc.pdf (consultato il 15/06/2022).

[67] N. Barker, *I documenti nell'ambiente degli istituti di conservazione e di ricerca*, in *Bollettino dell'Istituto Centrale per la Patologia del Libro Alfonso Gallo*, XXXVI, 1980, pp. 43–52.

[68] WCED, *Our Common Future. World Commission on Environment and Development*, Oxford, Oxford University Press, 1987; E. Holden, K. Linnerud, D. Banister, *Sustainable development: Our Common Future revisited*, in *Global Environmental Change*, 26, 2014, pp. 130–139, DOI: org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.006.

[69] ARPA FVG, *ARPA FVG, Un'Agenzia in Linea con gli Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile,* 2020, da: http://www.arpa.fvg.it/cms/hp/primopiano/Arpa-FVG-unAgenzia-in-linea-con-gli-obiettivi-dello-Sviluppo-Sostenibile.html (consultato il 10/06/2022).

[70] ICOM-International Council of Museums 2004, *op. cit*.

[71] ICCROM, *ICCROM's Commitment to the Sustainable Development Goals*, da: https://www.iccrom.org/iccroms-commitment-sustainable-development-goals (consultato il 10/06/2022).

[72] Culture ACTION europe, *Ensuring Culture Fulfills its Potential in Responding to the COVID-19 Pandemic,* Statement by the Culture2030Goal campaign, 20 aprile 2020, da: https://cultureactioneurope.org/news/ensuring-culture-fulfills-its-potential-in-responding-to-the-covid-19-pandemic/ (consultato il 16/06/2022).

[73] F. Vincent, *Conservation préventive et développement durable*, in *La Lettre de l'OCIM*, 140, 2012, pp. 27–31, DOI: 10.4000/ocim.1055.

[74] K. Dardes, S. Staniforth, *Preventive Conservation, Sustainable Stewardship of Collections*, The Getty Conservation Institute, 2015, da: https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/30_2/preventive_conservation.html (consultato il 15/06/2022).

[75] ICCROM, *Il Metodo RE-ORG*, 2017, da: https://www.iccrom.org/it/temi/conservazione-preventiva/re-org/il-metodo (consultato il 16/06/2022).

2 Natura stratigrafica delle fotografie

Barbara Cattaneo, Donatella Matè

Le fotografie sono oggetti stratigrafici compositi complessi e le tecniche succedutesi nel corso della loro evoluzione storica hanno permesso l'utilizzo di una grandissima quantità di sostanze di natura diversa. Soprattutto nei primi decenni della storia della fotografia si sono compiute molteplici sperimentazioni per scoprire leganti e supporti il più possibile ottimali alla realizzazione di una buona immagine. Studiare la struttura e la composizione dei materiali fotografici è propedeutico sia per il riconoscimento di un procedimento, sia per una diagnosi corretta dello stato conservativo e dei processi degradativi; in altre parole si rivela presupposto indispensabile per impostare un corretto piano conservativo e per l'individuazione di tecniche, metodi e prodotti utili al recupero.

2.1 Struttura delle fotografie

Il supporto primario che rappresenta la base, sostegno per l'immagine fotografica, può essere in materiale trasparente (vetro e materie plastiche) o riflettente (metallo, carta, carta plastificata, cuoio, ceramica, porcellana). Nel periodo pittorialista (fine del XIX secolo) furono utilizzati anche i tessuti come la tela cerata e la tela di lino (pannotipo dal latino *pannus* – 1860 ca.) considerati la massima espressione artistica in quanto permettevano la creazione di opere simili alle tele utilizzate in pittura. La fotoceramica, invece, si otteneva trasportando lo strato immagine su un supporto ceramico, fissandolo con il calore e smaltandone la superficie.

Alcune tipologie di fotografie, costituite semplicemente da un supporto primario e dai prodotti di trasformazione del materiale fotosensibile, sono definite "a uno strato". Le sostanze che costituiscono lo strato immagine possono trovarsi disperse in un legante, principalmente albumina, collodio e gelatina con la funzione di tenere unito l'originario elemento sensibile alla superficie del supporto; di questa seconda tipologia fanno parte le fotografie definite "a due strati". Quando un ulteriore strato (storicamente per le stampe su carta è la barite) viene interposto tra il supporto primario e lo strato immagine, al fine di migliorare la stesa dell'emulsione, si hanno fototipi "a tre strati". Infine, nei procedimenti a sviluppo istantaneo, gli strati sono numerosi come del resto nelle fotografie a colori (anche più di 20). Questo per quanto riguarda i supporti cartacei, ma anche gli altri materiali utilizzati come supporto per negativi, positivi, diapositive o come immagini uniche (vetro, metallo, plastica), sono rappresentati da strati differenti. Ad esempio, se si prende in considerazione una pellicola, strati di vario spessore con funzioni specifiche come lo strato antialo, quello protettivo, adesivo, antiarrotolamento, vanno a costituire la struttura. Tutto questo per non parlare degli strati costituenti la finitura di una immagine rappresentata da vernici con l'importante funzione di protezione.

Parallelamente alle tecniche fotografiche vere e proprie, sono state brevettate e applicate anche le tecniche fotomeccaniche che consistono in stampe da matrici inchiostrate, dapprima piane poi a rullo, ottenute a partire da un negativo fotografico. Nate soprattutto per l'editoria, al fine di realizzare cartoline e immagini ricordo, sono state amate anche da artisti fotografi, basti pensare a

Stieglitz e alle sue *photogravure*. Da un punto di vista strutturale, al pari delle stampe d'arte a cui sono assimilabili, presentano un supporto in carta (a volte tessuto) e uno strato superficiale di inchiostro preparato in un *medium* differente a seconda della tecnica fotoincisioria, generalmente inchiostro tipografico più o meno denso. Inchiostri, carte e vernici venivano quindi selezionate per imitare processi fotografici come quelli all'albume, alla gelatina e al platino.

2.2 Positivi monocromi e a colori su carta

Positivi monocromi su carta La carta ha rappresentato sin dall'inizio della storia della fotografia il supporto primario maggiormente usato nella produzione dei positivi. La struttura più semplice di una fotografia è quella a uno strato: ne fanno parte alcuni procedimenti sia argentici sia non argentici. Questa tipologia che non prevede l'uso di leganti è semplicemente formata da un supporto primario e da una sostanza fotosensibile; in queste immagini è possibile distinguere, anche a non elevati ingrandimenti, le fibre della carta. Quando è presente altresì un legante si parla di processi a due strati; il legante permette alle particelle che costituiscono l'immagine una migliore adesione al supporto e una resa migliore. Nelle carte fotografiche, a partire dagli anni 1880 ca., venne introdotta la barite (solfato di bario), costituito da uno strato tra carta e legante; la barite è stata sostituita a volte dall'ossido di zinco e dal biossido di titanio. Le fotografie di questo tipo sono a tre strati. Negli anni Settanta del Novecento iniziò la commercializzazione di un tipo di carta destinata a renderne più rapido il trattamento di sviluppo, lavaggio compreso. Lo strato di barite venne sostituito da pigmenti politenati, come il biossido di titanio e poi dal polietilene tereftalato (poliestere) microperforato per apparire opaco. Si tratta delle carte RC (*resin coated*), comunemente dette politenate e tuttora in commercio. Nelle microfotografie (figg. 2.1–2.7) è possibile osservare gli strati sottili (8–15 µm ca. di spessore), con cui sono costituite alcune tipologie di fotografie monocromatiche.

La figura 2.1 mostra una carta cianotipica degli anni Trenta, strutturata a uno strato (senza legante) in cui il blu di Prussia, ottenuto dall'elemento sensibile alla luce, è immerso nelle fibre del supporto. L'immagine dal tipico colore azzurro appare quasi assorbita dalle fibre della carta. In figura 2.2 viene mostrata anche una stampa Van Dyke brown, nota all'inizio del Novecento come carta seppia, che utilizza citrato ferrico-ammoniacale e nitrato di argento ed è di fatto una variante della kallitipia, procedimento ai sali di ferro e argento affermatosi verso la fine degli anni 1880. La kallitipia ha dovuto competere con le altre carte argentiche diffuse già su larga scala e con il platinotipo, apparso una decina di anni prima, che aveva riscosso notevoli apprezzamenti per la sua stabilità e per la ricchezza e profondità nelle ombre dell'immagine. La stampa mostrata è su carta leggermente collata con gelatina (la gelatina utilizzata in queste collature poteva essere di qualità inferiore a quella utilizzata per l'emulsione). La collatura, non visibile nella sezione, veniva eseguita per isolare il foglio di carta in modo tale da rallentare la penetrazione del colore e rendere l'immagine più superficiale, analogamente a quanto accadeva nella preparazione delle carte salate.

Nella figura 2.3 si evidenzia una sezione di carta all'albumina, struttura tipica a due strati. Il legante, insieme al sale d'argento aggiunto in un secondo tempo, forma l'emulsione, e lo strato immagine "galleggia" per così dire sulla superficie della carta.

Nelle carte a tre strati, tra strato immagine (gelatina e alogenuro d'argento finemente suddiviso) e supporto primario, si trova la stesa di barite. Di supporti di questo tipo vengono mostrate nell'ordine una stampa alla gelatina (cloruro d'argento a sviluppo) Kodak Velox del 1933 (fig. 2.4), in cui si nota lo strato immagine costituito dal sale d'argento e dal legante (di colore grigiastro), quello di barite e il supporto primario. La tinta dello strato di $BaSO_4$, più o meno scura, è dovuta allo spessore della sezione, infatti, pochi µm in più possono aumentarne di molto la densità. In figura 2.5 è visibile una aristotipia al collodio del 1918 in cui si notano i tre strati (da sinistra verso destra): strato immagine (collodio e argento), barite e supporto primario cartaceo. Nella figura 2.6 si ha una carta baritata moderna Ilford Fb galerie del 1990 con i tre strati che evidenziano, a partire da sinistra verso destra: strato immagine (gelatina e bromuro d'argento), barite e supporto primario. In alcune carte di elevata qualità si individua anche un sottile film di protezione, non identificabile nella stratigrafia qui presentata poiché si confonde con lo strato immagine. Questo film (solitamente 1 µm = 0,001 mm ca. di spessore, ma in casi particolari come nella Kodak Elite Fine Art, raggiunge i 3 µm), normalmente non preso in considerazione come strato effettivo per l'identificazione della tipologia di carta fotosensibile, ha la funzione di rendere brillante la superficie, di proteggere lo strato immagine vero e proprio ed è definito come *overcoat*. Tra una carta e l'altra ci sono anche alcune minime differenze nello spessore dello strato dell'emulsione, che normalmente è di 7 µm ma può raggiungere i 9 µm. Lo strato di barite è generalmente compreso tra 16 e 20 µm, mentre differenze consistenti si hanno riguardo al supporto primario che indicativamente varia dai 145 µm per le baritate, ai 245 µm per il cartoncino baritato, sino ai 300 µm per la Kodak Elite Fine Art.

Infine, nella figura 2.7, viene mostrata una carta moderna plastificata RC Ilford Ilfospeed degli anni 1970. Gli strati sono quattro e da sinistra verso destra si può vedere: lo strato immagine, costituito da gelatina e bromuro d'argento, lo strato di materiale plastico idrorepellente sul *recto* inglobante l'inerte, il supporto primario cartaceo e ancora uno strato di materiale plastico sul *verso*. Sul *recto* vi è anche l'aggiunta di un pigmento bianco (solfato di bario, con aggiunta di ossido di titanio, o solo quest'ultimo). Nelle carte RC, come in quelle baritate di elevata qualità, vi è un ulteriore strato protettivo di pochi µm sul *recto*, simile a una vernice, che serve a proteggere il supporto; tale strato è permeabile a tutte le soluzioni usate nello sviluppo e nel fissaggio, e in alcuni casi rende particolarmente brillante la superficie della fotografia. Come già evidenziato, lo strato protettivo risulta parte dello strato immagine; in realtà esso non viene incluso nel numero degli strati come non è preso in considerazione lo strato antistatico sul *verso* delle *resin coated*. Carte di questo tipo sono quindi comunemente dette "a quattro strati" anche se effettivamente sono presenti ulteriori componenti: strato protettivo e antistatico.

Struttura ben più complessa è quella dei processi "a sviluppo istantaneo" detti anche "a diffusione di colore" (*dye diffusion*), come il sistema Polaroid, che risulta essere il più rappresentativo. La pellicola, composta da uno strato sensibile contenente alogenuri d'argento, dopo la ripresa viene estratta dall'apparecchio e a questo punto si libera una sostanza viscosa alcalina che attiva lo sviluppo grazie alla compressione dei rulli posti alla bocca dell'apparecchio, in grado di rompere le vescicole (*micro pods*) che contengono i reagenti. Un foglio recettore viene applicato contro la pellicola e così nelle zone esposte alla luce gli alogenuri sviluppati e immobilizzati costituiscono l'immagine negativa, mentre nelle zone non esposte gli alogenuri si diffondono e vengono trasferiti nello strato ricettore dove, a contatto con i compo-

Fig. 2.1

Sezione di carta cianotipica, anni Trenta, ingrandimento 25×10 (in alto a sn)

Fig. 2.2

Sezione di stampa Van Dyke, anni 1990 ca., su carta Fabriano F4, ingrandimento 25×10 (in alto a dx)

Fig. 2.3

Sezione di carta all'albumina, fine 1800, ingrandimento 20×10 (in basso a sn)

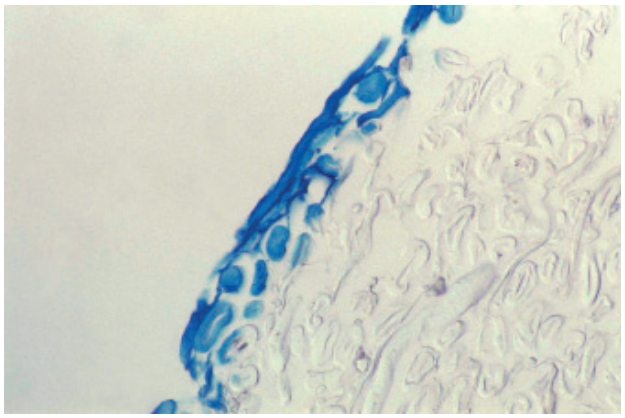
Fig. 2.4

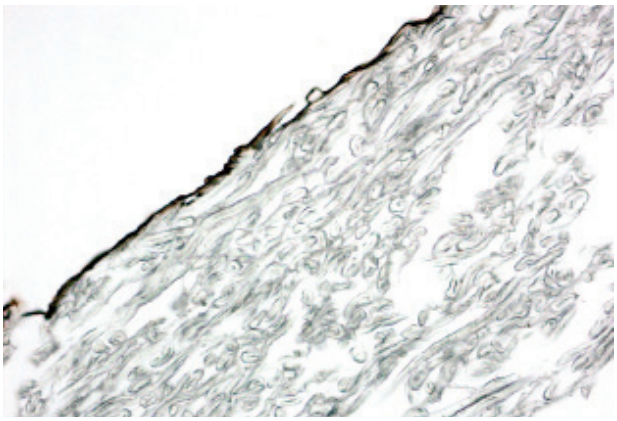
Sezione di carta alla gelatina-cloruro d'argento Kodak Velox del 1933, ingrandimento 40×10 (in basso a dx)

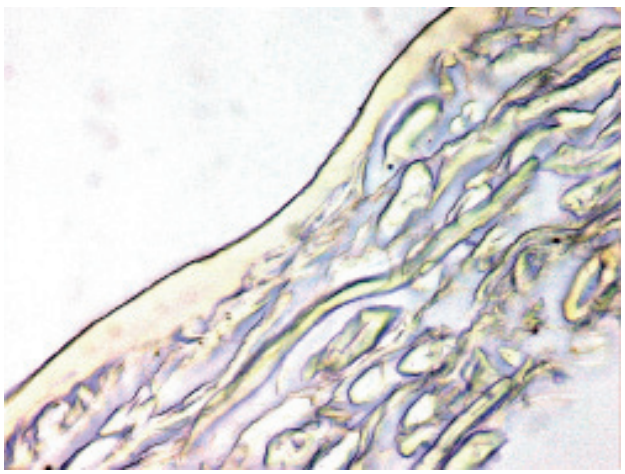
sti chimici, si sviluppano formando l'immagine positiva.

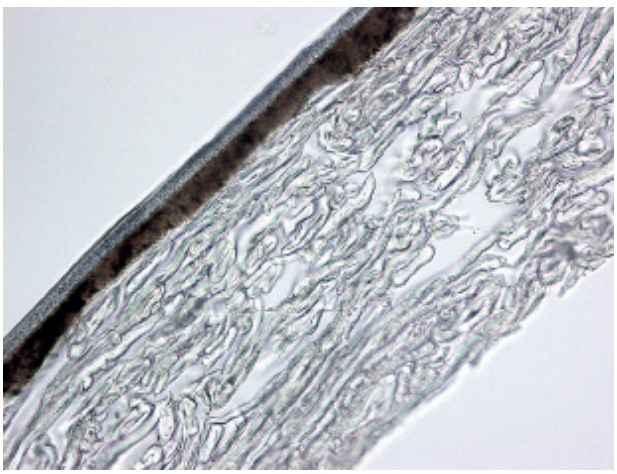
I processi di questo tipo possono essere: "distaccabili" e "integrali". Nel primo caso la stampa è costituita da un supporto di carta ricoperto da uno strato di gelatina su cui sono fissati i sali d'argento. La carta baritata opaca, rivestita da uno strato recettore (a base di silicio o di composti cellulosici rigenerati dove sono dispersi i germi di enucleazione), si trova tra due strati di polietilene pigmentato. Nelle pellicole integrali, invece, il positivo e il negativo hanno la stessa struttura. L'immagine, che si forma attraverso un strato di poliestere trasparente antiriflesso costituito da pigmenti neutri, è protetta da uno strato assorbente sul *recto* e da uno costituito da reattivo chimico opaco sul *verso*. Lo sviluppo, che avviene in pochi minuti, termina quando si verifica la liberazione di un polimero acido. La struttura di una pellicola integrale T-331 Auto Film Integral black & white, risulta così composta[1]:

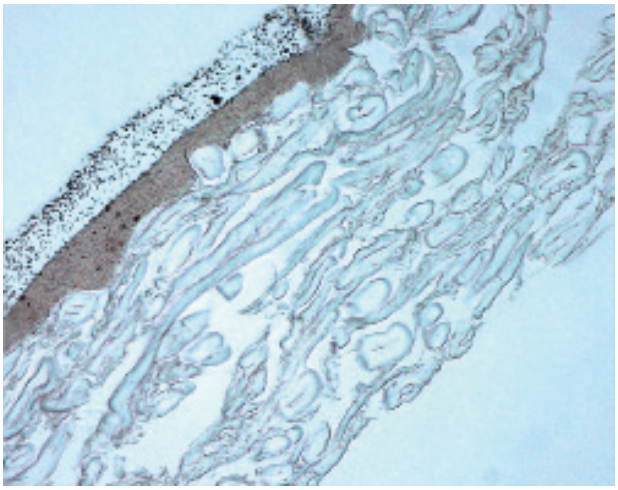
1. poliestere;
2. strato ricevente l'immagine;
3. strato bianco riflettente;
4. strato nero opaco;
5. emulsione negativa;
6. strato protettore;
7. *gousse* di reattivo;
8. strato protettore;
9. strato *retard*;
10. gelatina;
11. polimero acido;
12. poliestere trasparente.

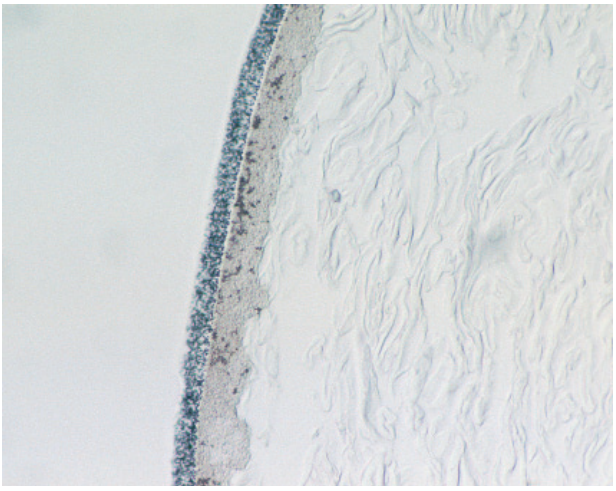


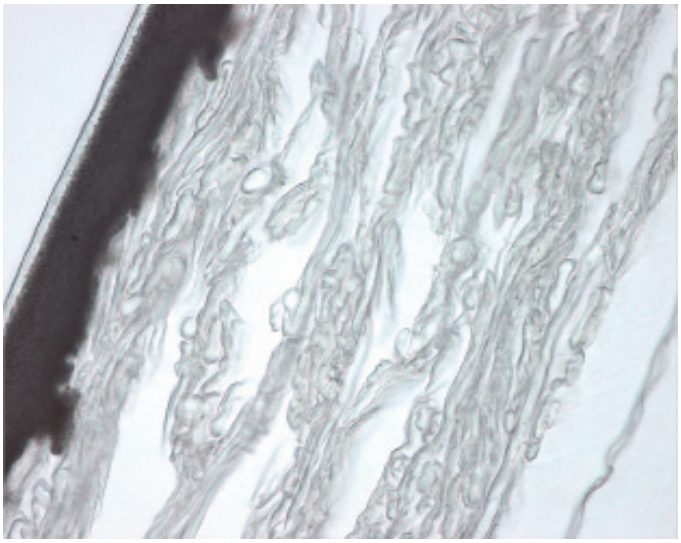












Positivi a colori su carta Con il progredire della tecnologia e per la necessità commerciale di distribuire prodotti sempre nuovi e via via più stabili, il numero degli strati arriva a variare da cinque a nove nel caso di carte "a sviluppo cromogeno", *dye coupling/dye coupler*, in cui i coloranti si formano in funzione dello sviluppo dell'argento, e da nove a undici nel caso delle carte (ove per carte si intendono anche materiali plastici opachi simili nella resa, a carte) "a distruzione di colore", *dye destruction*, ovvero "a sbianca catalitica", *silver dye-bleach* (il procedimento Cibachrome/Ilfochrome è il più diffuso e si basa sull'utilizzo non di copulanti ma di coloranti azo incorporati nell'emulsione). Nelle immagini seguenti vengono mostrate alcune sezioni sottili di carte da stampa a colori dove sono ben visibili i tre strati fotosensibili sovrapposti: l'emulsione fotografica con lo strato sensibile al blu, il filtro giallo e gli strati sensibili al verde e al rosso, poi lo strato di barite e il supporto di carta. Per la stampa da diapositive a colori sono state usate carte invertibili: carta Kodak (fig. 2.8) e carta Fujichrome (fig. 2.9). Lo strato giallo è ben visibile solo nelle figure 2.8 e 2.9, mentre nella figura 2.10 (carta 3M) sembra addirittura non presente, in realtà ciò è dovuto al colore del frammento della stampa fotografica.

Il procedimento Cibachrome, introdotto agli inizi degli anni Sessanta dalla Ciba (successivamente, 1991, il nome fu modificato in Ilfochrome, quando il brevetto venne ceduto dalla Ciba-Geigy alla Ilford), non utilizza i copulanti cromogeni ma si basa sul complesso processo di sbianca a distruzione dei coloranti. Tra i primi processi si ricorda il P-7a (1967) con ben 7 tappe di trattamento (1 h) seguiti dal P-10 (36 min) e il P-18 (15 min) ecc. I coloranti non si formano in funzione dell'esposizione, come nel cromogenico, ma sono distrutti in modo selettivo. Nei tre strati sensibili la carta (anche la pellicola) incorpora i coloranti che vengono distrutti in corrispondenza delle sole zone esposte quando avviene lo sviluppo. La sequenza di bagni di sviluppo,

Fig. 2.5

Sezione di carta aristotipica del 1918, ingrandimento 40×10 (in alto a sn)

Fig. 2.6

Sezione di carta baritata moderna Ilford Fb galerie del 1990, ingrandimento 40×10 (in alto a dx)

Fig. 2.7

Sezione di carta baritata moderna Ilford Ilfospeed RC degli anni 1970, ingrandimento 40×10 (in basso)

sbianca, fissaggio, permettono che i coloranti i quali non sono stati distrutti formino un'immagine diretta positiva[2]. Gli strati di questi materiali sono visibili solo sotto fortissimi ingrandimenti. Nella figura 2.11 si può vedere la complessa struttura di una carta Ilfochrome. A partire dall'alto si nota:

1. strato protettivo di gelatina con trattamento indurente;
2. strato sensibile al blu (gelatina bromuro d'argento);
3. strato sensibile al blu (colorante giallo + gelatina bromuro d'argento);
4. filtro giallo e maschera;
5. strato sensibile al verde (gelatina ioduro-bromuro d'argento);
6. strato sensibile al verde (colorante magenta + gelatina ioduro-bromuro d'argento);
7. interstrato in gelatina;
8. strato sensibile al rosso (gelatina ioduro-bromuro d'argento);
9. strato sensibile al rosso (colorante ciano + gelatina ioduro-bromuro d'argento);
10. supporto – poliestere, carta *resin coated*;
11. strato *anticurl* – gelatina.

Nei positivi a colori cromogeni su carta baritata è generalmente presente uno strato superficiale di gelatina con funzione protettiva. Nelle carte più recenti, la gelatina superficiale è integrata con una pigmentazione filtro anti-UV in modo tale da rallentare le alterazioni fotochimiche degli strati colore e, più in generale, i processi fotossidativi. Al di sotto del primo strato si trovano i tre strati colore, interpolati, almeno nei prodotti più recenti, da due interstrati di gelatina per evitare la migrazione dei copulanti negli strati confinanti. Alla base si trovano lo strato baritato, poi la carta e, più in basso, uno ulteriore di gelatina, adottato per uniformare il "sandwich" e renderlo più stabile durante i trattamenti. Quest'ultimo è il cosiddetto trattamento *anticurl*.

In generale, i positivi a colori su carta sfruttano la stessa tecnologia stratificata per sovrapposizione di emulsioni colorate (le stesse sono descritte in seguito per le pellicole negative e invertibili). Cambia soltanto il supporto, necessariamente opaco per l'osservazione diretta, evoluto negli anni da carta baritata a carta *resin coated*. La carta RC, generalmente più stabile durante i trattamenti, non è indenne dal rischio di deformazione o di degradazione chimica, poiché lungo i margini della fotografia lo strato in carta rimane esposto. Per questo motivo, a partire dagli anni Ottanta e solo in alcuni prodotti (come nelle Cibachrome/Ilfochrome), le carte RC sono state sostituite da uno strato di poliestere opaco (Melinex® e Mylar®, brevetto DuPont)[3], uno strato plastico processato in modo tale che al suo interno, quando è colpito dalla luce, si formano dei fenomeni di *scattering* in grado di far apparire il supporto bianco[4]. La stratificazione delle carte a sviluppo cromogeno (fig. 2.12) è composta da:

1. strato protettivo di gelatina con trattamento indurente;
2. strato sensibile al blu (gelatina bromuro d'argento);
3. strato sensibile al blu (colorante giallo + gelatina bromuro d'argento);
4. filtro giallo e maschera;
5. strato sensibile al verde (gelatina allo ioduro-bromuro d'argento);
6. strato sensibile al verde (colorante magenta + gelatina ioduro-bromuro d'argento);
7. interstrato in gelatina;
8. strato sensibile al rosso (gelatina ioduro-bromuro d'argento);
9. strato sensibile al rosso (colorante ciano + gelatina ioduro-bromuro

d'argento);
10. strato – polietilene pigmentato;
11. supporto – carta;
12. strato – polietilene *clear*.

Prima dell'introduzione delle carte politenate venivano usate carte baritate e di conseguenza la struttura variava in questo modo:
10. strato baritato;
11. supporto – carta;
12. strato protettivo di gelatina.

Oltre alle carte a sviluppo cromogeno, anche quelle ottenute con sistemi a diffusione di colore, come il Polacolor (*peel-apart*, negativo/positivo a contatto – autosviluppante, presentato da E. Land nel 1962 e commercializzato nel 1963) e la Polaroid SX-70 (*monopack*) del tipo a diffusione e trasferimento integrale (senza componenti da staccare e gettare, introdotta nel 1972) hanno come prodotto finale un supporto in carta politenata o poliestere opaco (SX-70), una emulsione e uno strato protettivo in gelatina. Il procedimento Polacolor utilizza una pellicola multistrato con i tre strati sensibili al rosso, verde e blu intercalati a sviluppatori del colore contenenti molecole di rivelatore legate alle molecole dei coloranti ciano, magenta e giallo. Dopo l'impressione della pellicola, lo sviluppo inizia quando viene tirata una linguetta inserita nell'apparecchio che permette la rottura di una sacca contenente il rivelatore. Dove si verifica lo sviluppo, le molecole del rivelatore/colorante vengono immobilizzate, dove invece non si verifica, le molecole migrano attraverso gli strati dell'emulsione sino allo strato ricevente della carta adiacente e si fissano per formare l'immagine positiva a colori[5].

Questa prima fase storica della tecnologia a colori di casa Polaroid è detta a "trasferimento di immagine"; l'immagine viene trasferita da un supporto a un altro durante lo sviluppo e dopo. Più nel dettaglio, il negativo è costituito da tre strati sensibilizzati di emulsione: il primo è sensibile al blu, il secondo al verde e il terzo al rosso. A ciascuno di questi strati ne sono affiancati altrettanti contenenti i coloranti complementari associati ai tre diversi rivelatori di colore: giallo, magenta e ciano. Dopo l'esposizione il negativo viene portato a contatto con il supporto destinato a ricevere l'immagine positiva; tra i due strati si trova un attivatore in presenza del quale i rivelatori colorati (contenuti nello strato sviluppatore) riducono l'alogenuro esposto e rimangono per così dire immobilizzati nello strato sensibile. In poche parole si forma una immagine negativa in ciascuno dei tre strati, e nelle zone impressionate i coloranti fissati con il rivelatore non possono migrare. Nelle zone non impressionate, invece, i coloranti si diffondono attraverso il negativo tra uno strato e l'altro fino a raggiungere il materiale ricevente, il supporto cioè dove si fissano formando l'immagine a colori[6].

Nelle pellicole integrali gli strati colore contengono direttamente i coloranti complementari con, associati, gli strati di molecole di agente di sviluppo e di fissaggio. Tutte le sostanze impiegate restano all'interno del pacchetto rivestito di polimero plastico, che costituisce anche la fotografia finale. Di seguito viene evidenziata la sequenza di strati di una carta Polaroid a colori la cui immagine di riferimento è mostrata in figura 2.13.
1. strato di plastica trasparente;
2. strato di acido polimerico;
3. strato polimerico a tempo;

4. strato mordente (cattura i pigmenti);
5. strato polimerico;
6. strato attivatore (contiene un pigmento bianco che alla fine del processo viene reso trasparente);
7. emulsione sensibile al blu;
8. strato di sviluppo del colorante giallo;
9. strato spaziatore;
10. emulsione sensibile al verde;
11. strato di sviluppo del colorante magenta;
12. strato spaziatore;
13. emulsione sensibile al rosso;
14. strato di sviluppo del colorante ciano;
15. strato di base di pigmento nero opaco.

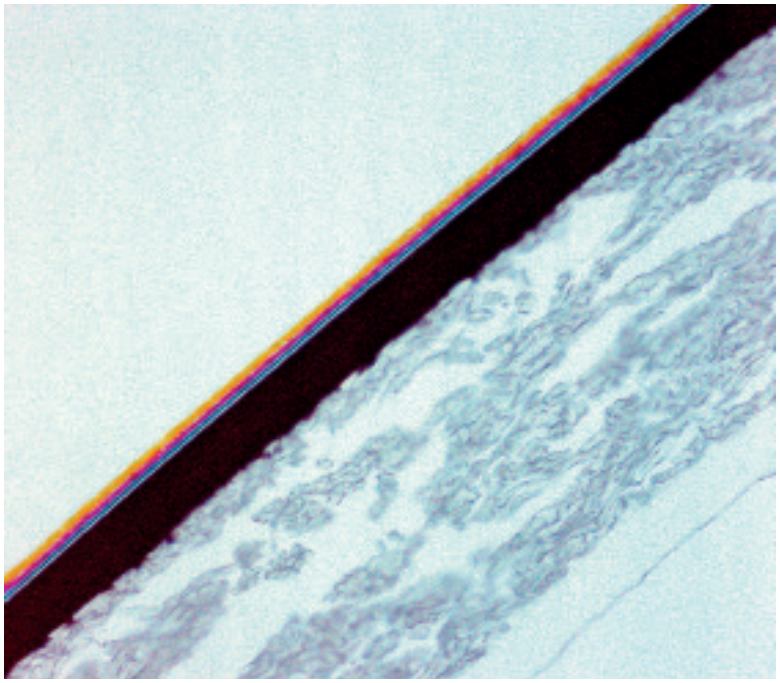
Gli strati 1, 2, 3, 4 e 5 costituiscono lo strato ricevente, invece 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14, lo strato negativo a colori.

Casi diversi di positivi a colori sono quelli ottenuti da tre matrici separate, una per ogni colore primario, di fatto ottenuti da negativi argentici ma le cui immagini finali non sono argentiche, bensì il frutto del trasferimento di coloranti e pigmenti da una matrice ad un supporto cartaceo.

Il "carbro", evoluzione dell'ozobromia, diffuso nella prima metà del Novecento, e il Kodak Dye Transfer, prodotto nell'immediato dopoguerra (introdotto nel 1946) praticamente fino a oggi, danno immagini senza dubbio molto stabili.

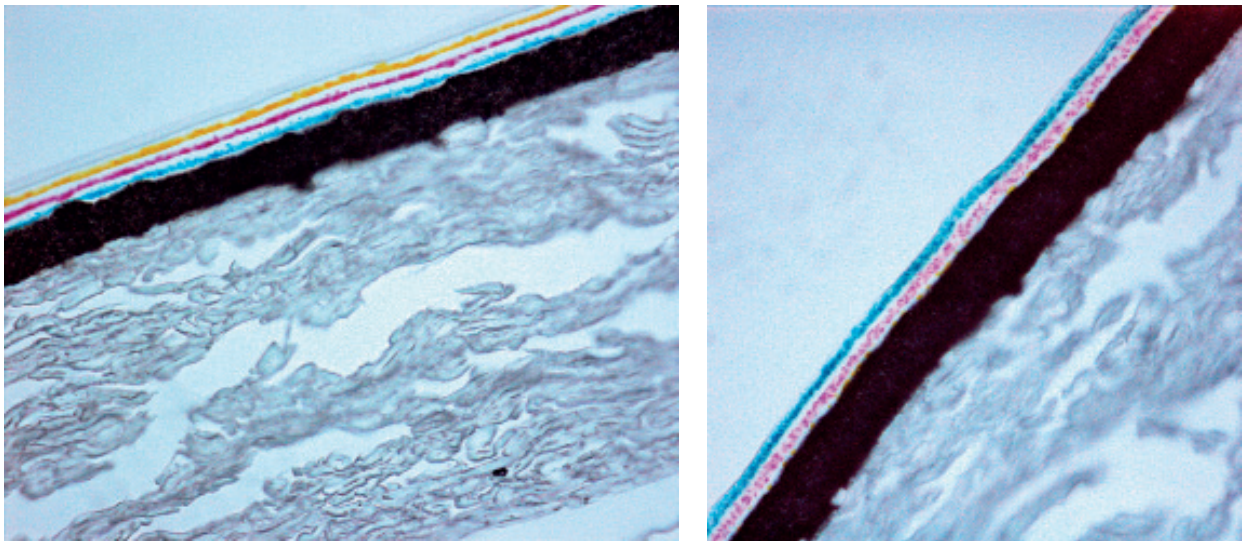
Fig. 2.8

Sezione di carta da stampa a colori Kodak del 1982 (stampa da pellicola invertibile diacolor E-6 della Kodak), ingrandimento 20×10



Il Dye Transfer è un procedimento a colori in cui la sovrapposizione delle tre immagini avviene per "trasferimento di coloranti" (*dye transfer*) detto anche "per imbibizione" (*dye imbibiton*). Fu molto utilizzato per la realizzazione di stampe d'arte di elevata qualità. Esattamente in questo processo l'emulsione d'argento in gelatina fornisce una matrice dalla quale si ottiene l'immagine grazie al trasferimento dei coloranti su un supporto di carta. Più in particolare, nella fase di sviluppo la gelatina indurisce dove è avvenuto lo sviluppo dell'argento, dopo il fissaggio c'è il lavaggio e la gelatina non indurita viene lavata via in acqua calda lasciando una matrice in rilievo corrispondente all'immagine. Grazie a un successivo lavaggio in acido, la matrice colorata viene pressata contro la carta mordenzata con gelatina e i coloranti si trasferiscono in questo strato[7].

Analogamente ai procedimenti alla gomma bicromatata e a quelli ai pigmenti monocromi o a più colori, il Dye Transfer si può descrivere come a due strati: l'immagine risulta in rilievo, mentre nelle alte luci sono visibili i supporti, poiché dove vi è più presenza di pigmento, dunque dove la densità risulta maggiore, vi è anche maggiore quantità di gelatina.



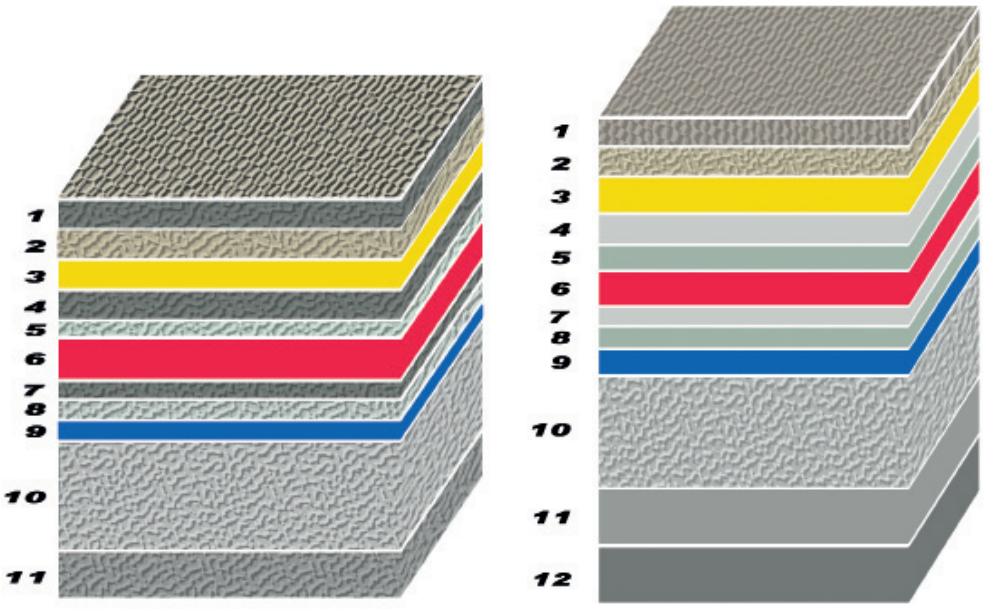


Fig. 2.9

Sezione di carta a colori Fujichrome del 1987 (stampa da pellicola invertibile diacolor E-6 della Kodak), ingrandimento 40×10 (in alto a sn)

Fig. 2.10

Sezione di carta a colori 3M del 1985 (stampa da pellicola negativa a colori C-41 della Kodak), ingrandimento 40×10 (in alto a dx)

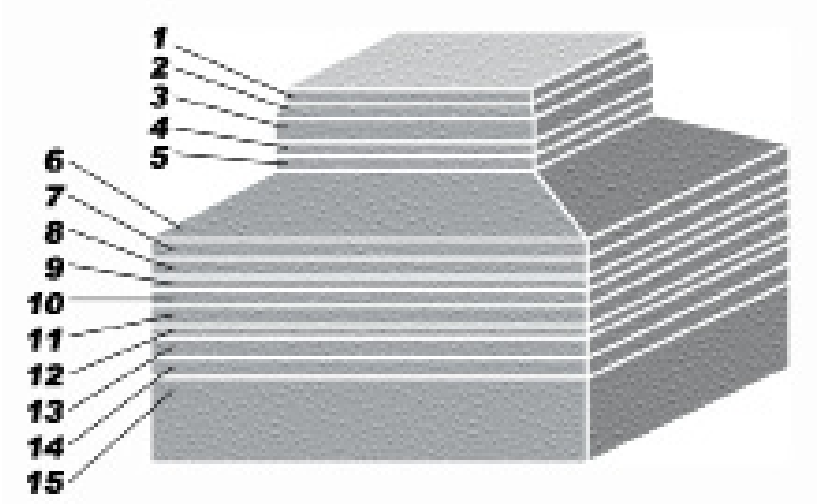


Fig. 2.11

Struttura di carta Ilfochrome (al centro a sn) (non in scala)

Fig. 2.12

Struttura di carta a colori a sviluppo cromogeno politenata (al centro a dx) (non in scala)

Fig. 2.13

Struttura di carta Polaroid a colori (in basso) (non in scala)

2.3 Positivi su metalli, vetro e materie plastiche

Il dagherrotipo, il primo procedimento ad affermarsi nella storia della fotografia, ha il supporto primario costituito da una lastra di rame argentata con depositato un amalgama di argento-mercurio. L'argentatura della lamina del dagherrotipo si otteneva con il metodo della galvanoplastica che utilizzava la pila Daniell e con il metodo della lamina Sheffield.

La lastra sensibilizzata con vapori di iodio (più avanti anche cloro e bromo), veniva esposta, sviluppata con vapori di mercurio e infine fissata. Il dagherrotipo può essere schematizzato come un negativo/positivo a due strati, dove effettivamente i due strati corrispondono a due supporti (rame e argento) e in cui l'immagine si forma direttamente sul supporto argentato senza la presenza di un legante.

L'ambrotipo è di fatto un negativo di vetro al collodio; il retro della lastra di vetro era rivestito con tessuto, carta o vernice nera affinché l'immagine apparisse positiva. Questo materiale può essere pensato schematicamente come un fototipo a due strati in cui lo strato più basso è il vetro di supporto e l'immagine argentica, immersa nel legante collodio, costituisce lo strato superficiale. Anche le ambrotipie potevano essere sottoposte a viraggi per modificare i toni dell'immagine. Il ferrotipo, rispetto all'ambrotipo, possedeva un supporto opaco e non fragile, solitamente una lastra di ferro verniciata di nero che sostituiva la lastra di vetro. La vernice di rivestimento è scura, generalmente nera, di gommalacca, olio di lino, nero di carbone o di asfalto, con uno strato di collodio e alogenuro d'argento e uno ulteriore di vernice protettiva, sempre previsto, come finitura.

Anche le diapositive (positivi su supporto trasparente realizzati da un negativo o tramite un processo di inversione), le trasparenze (di formato più grande) e le lastre per lanterne magiche sono assimilabili alle tipologie a due strati, avendo il supporto in vetro, uno strato di gelatina, collodio o albumina unite ad alogenuro d'argento, almeno fino alla specializzazione industriale dopo la prima guerra mondiale.

Il numero di strati comincia ad aumentare con il progresso della sperimentazione fotografica.

La lastra Lippmann, uno dei primi positivi a colori, descritta dal fisico francese Gabriel Jonas Lippmann nel 1891, è costituita da un supporto in vetro, gelatina, emulsione argentica, uno strato di vernice sul retro (del vetro) e un prisma di vetro incollato sul *recto* della lastra per facilitare l'osservazione.

Dalla sperimentazione di Lippmann discende l'autocromia, messa in produzione dai fratelli Lumière a partire dal 1904, costituita da una lastra di vetro ricoperta di granuli amilacei (fecola di patate oppure lievito di birra o polveri minerali trasparenti), colorati di rosso, blu e verde, con aniline. In particolare venivano utilizzate: eritrosina, rosa bengala, tartrazina + acqua distillata, per lo strato arancio-rosso; tartrazina, *blu carmin*, ammoniaca e solfato di sodio + acqua distillata, per il verde; eritrosina, rosa bengala, violetto cristallizzato, verde nuovo 3B + acqua distillata, per il violetto. Inoltre, veniva aggiunto nerofumo come riempitivo, fino a formare un retino uniforme con granuli e nerofumo giustapposti. Strati alternati di gelatina oppure gomme naturali (in particolare la gomma dammar) fungevano da preparazione dello strato legante, da protettivo dei grani colorati e da base per l'applicazione dell'emulsione fotosensibile pancromatica (brevetto americano del 1906)[8]. Come strato superficiale veniva applicata copale o gommalacca.

Dopo la crisi della prima guerra mondiale, a seguito della crescente ri-

chiesta di materiale su pellicola per il cinema e per la fotografia amatoriale, i Lumière brevettarono le pellicole Filmcolor (1931), poi Lumicolor (1932) e Alticolor (1952), basate sulla tecnologia Autochrome, ma con supporto plastico in diacetato di cellulosa. Gli strati che compongono la pellicola Filmcolor sono:

1. emulsione pancromatica;
2. strato di vernice;
3. granuli di fecola colorati con polvere di carbone di legno e strato di vernice;
4. supporto di celluloide;
5. strato di gelatina;
6. vernice al collodio.

Prima di essere confezionate, le pellicole venivano ricoperte con uno strato di vernice utile a proteggere dalle abrasioni. I materiali usati per la fabbricazione delle Lumicolor erano identici a quelli impiegati per la produzione delle Filmcolor con la differenza che i coloranti erano aggiunti nell'emulsione e che la rapidità era di molto superiore. Agli inizi degli anni Cinquanta le Filmcolor e le Lumicolor sono state sostituite da un'altra versione unicamente disponibile in formato 6×6 cm: l'Alticolor. Il successo ottenuto dalle lastre autocromiche aveva comunque spinto gli studiosi, subito dopo la loro commercializzazione, a ricercare ulteriori metodi per ottenere uno schermo policromo.

Le prime lastre, dopo l'avvento delle autocromie brevettate da C.L. Finlay nel 1906 e messe in commercio nel 1908, furono le Thames, fabbricate a Londra dalla Thames Plate Co. High Holborn, la cui "grana" era circa otto volte quella delle autocromie. Il processo Finlay è costituito da elementi circolari rossi e verdi disposti su fondo violetto. La produzione di queste lastre fu interrotta nel 1910, ma le caratteristiche principali del processo furono riprese nella lastra Paget, fabbricata dalla Paget Dry Plate Company, proposta al mercato inglese nel 1913 e in produzione fino al 1920 circa. In quegli anni, esattamente nei primi mesi del 1909, furono commercializzate anche le Omnicolor Jougla, che erano state presentate nel 1907. L'americano Powrie nel 1907 inventò una lastra a schermo policromo che però non ebbe seguito, come del resto la lastra Aurora di produzione inglese che presentava un mosaico regolare con probabili elementi di gomma o resina polverizzata, informi e di grandezza molto diversa, tali da portare a risultati alquanto imperfetti. Nel 1908 Louis Dufay brevettò le Dioptichromes, fabbricate dalla nota ditta di lastre secche Guilleminot di Parigi. Queste lastre a mosaico reticolate furono tra le poche a conoscere una buona diffusione anche se minore rispetto alle autocromie: ciò grazie al reticolato che presentava purezza, assoluta trasparenza oltre a straordinaria regolarità[9]. Erano coperte da strati sovrapposti di collodio colorato in blu, verde e rosso, preparati con rigature di inchiostri grassi successivamente sbiancati in modo tale da evidenziare un retino completamente colorato. Al di sopra veniva stesa l'emulsione pancromatica fornita dalla Ilford.

Anche il sistema Dufay ebbe un'evoluzione su pellicola, con i nomi di Versicolor (1920) e Dufaycolor (1935). Già alla fine del 1907 la società tedesca Deutsche Raster Gesellschaft aveva brevettato un processo per ottenere pellicole di celluloide con lineatura dei tre colori destinati alla fotografia a colori, ma il procedimento fu abbandonato poiché non avrebbe permesso una applicazione per piccoli formati. Altri tentativi di fabbricazione di pellicole a mosaico furono realizzati da una ditta di Berlino con le pellicole Krayn.

Ulteriori processi (come quello di Ruth e di Palmer) permisero agli inventori di sbizzarrirsi nella ricerca di nuovi metodi; nel 1913 fu introdotto il citato processo Paget, che conobbe un buon successo anche per la sua economicità rispetto alle autocromie[10].

Agfacolor Kornraster e Agfacolor Ultra sono invece "sistemi a mosaico" commercializzati fra il 1932 e il 1938. Al posto dei granuli di amido, si sfruttavano gocce di coloranti organici in sospensione colloidale, distribuiti sulla lastra e fatti asciugare in modo da formare un "mosaico" rosso, blu e verde al di sopra del quale veniva versata l'emulsione pancromatica.

I sistemi a colori basati sulla "sintesi additiva" appena descritti sono stati immediatamente affiancati e presto superati da quelli basati sulla "sintesi sottrattiva" (in cui i materiali riuniscono le tre separazioni cromatiche in un solo supporto e permettono ai colori di apparire compatti e non punteggiati, al contrario dei puntini adiacenti tipici dei processi additivi), e soprattutto dai materiali cromogenici e cromolitici (a distruzione di colore).

I sistemi a sviluppo cromogeno sono senza dubbio i più diffusi. Introdotti a partire dalla metà degli anni Trenta del Novecento, vale a dire dalla comparsa sul mercato delle pellicole invertibili Agfacolor Neu (1936) e Kodachrome, sono noti come "sistema tripack" perché contengono i tre strati colore in un unico prodotto. Sono definiti cromogeni perché i coloranti si generano durante lo sviluppo, in particolare dopo il bagno in un rivelatore cromogeno (generalmente un derivato della p-fenilendiamina che produce argento metallico e agenti di sviluppo ossidati). Questi composti ossidati reagiscono con molecole organiche, i copulanti cromogeni, che possono essere già presenti all'interno degli strati emulsione oppure, come nel caso della tecnologia invertibile Kodachrome, possono essere diffusi nei tre strati colore durante il trattamento chimico. Questo particolare procedimento è ben riconoscibile poiché a luce radente le aree colorate risultano in rilievo. La pellicola Kodachrome nacque nel 1935 ed è uscita di produzione nel 2009. I coloranti sviluppati sono per lo più indoanilina (ciano) e azometine (magenta e giallo)[11]. L'argento metallico viene rimosso durante la fase di sbianca cosicché, a trattamento completato, si ottengono tutte le sfumature per sovrapposizione dei colori primari.

Le trasparenze (positivi di medio e grande formato) e le diapositive (positivi di piccolo formato montate in telaio) sono costituite da uno strato superficiale di gelatina, con funzione di protezione degli strati di gelatina sottostanti, all'interno dei quali si andranno a generare i tre colori primari. I tre strati non sono altro che dispersioni di argento fotosensibile, come nella tecnologia della fotografia in bianco e nero, dove però ognuno di essi reagisce soltanto a una componente spettrale. Gli strati sono distribuiti in base alla sensibilità alle lunghezze d'onda della luce, pertanto quello superiore è sensibile al blu (onde più corte e più energetiche) e prevede l'utilizzo di un semplice alogenuro d'argento. Il mediano è invece costituito da una emulsione ortocromatica, sensibile al giallo-verde, mentre l'inferiore lo è al rosso (emulsione pancromatica). Tra lo strato sensibile al blu e quello al verde è inoltre inserito un filtro giallo per evitare che le onde più energetiche agiscano anche negli strati sottostanti.

Immediatamente sotto la dispersione sensibile al rosso, dunque alla base delle emulsioni colore, viene posto uno strato antialo, che consiste in una pellicola rosso-aranciata (la cosiddetta "maschera" per aumentare il contrasto finale dell'immagine e bilanciare i colori) all'interno della quale sono dispersi pigmenti opacizzanti necessari per assorbire tutti i raggi luminosi residui. In

questo modo si evitano fenomeni di *scattering*, s'impedisce che i raggi possano "rimbalzare" sul fondo traslucido energizzando l'argento fotosensibile non colpito in prima istanza, e quindi si garantisce la nitidezza dell'immagine. In alcuni prodotti fotografici, in particolare nelle pellicole in rullino, lo strato antialo è posto sotto la pellicola stessa, con funzione contestuale di *anticurling*. Occorre notare che la pigmentazione dello strato antialo viene rimossa durante il processo di sviluppo[12] in modo tale da ottenere un materiale osservabile e riproducibile in totale trasparenza.

Lo strato inferiore è il supporto vero e proprio del materiale fotosensibile, vale a dire una pellicola in nitrato di cellulosa, diacetato, triacetato o poliestere, quest'ultimo diffuso a partire dagli anni Ottanta e soprattutto per le pellicole in piano. Lo strato *anticurling* è sempre presente nelle pellicole di dimensioni più grandi e in quelle a rullo.

A tal proposito vengono mostrati i disegni (figg. 2.14 e 2.14a) di una struttura di pellicole invertibili Agfachrome 50 S Professional e Agfachrome Professional in acetilcellulosa nei formati rullino (0,10 mm, 0,13 mm, piccolo formato, 0,20 mm, pellicola piana). Sul retro del rullino è applicato uno strato di gelatina indurita. La pellicola è a tre strati e gli strati protettivi intermedi hanno uno spessore totale di 20–22 µm. I copulanti solubili in acqua non sono diffondibili.

Nei due schemi seguenti si elencano i costituenti dei singoli strati mostrati nella figura 2.14 (pellicola non esposta) e 2.14a (pellicola sviluppata).

Figg. 2.14, 2.14a

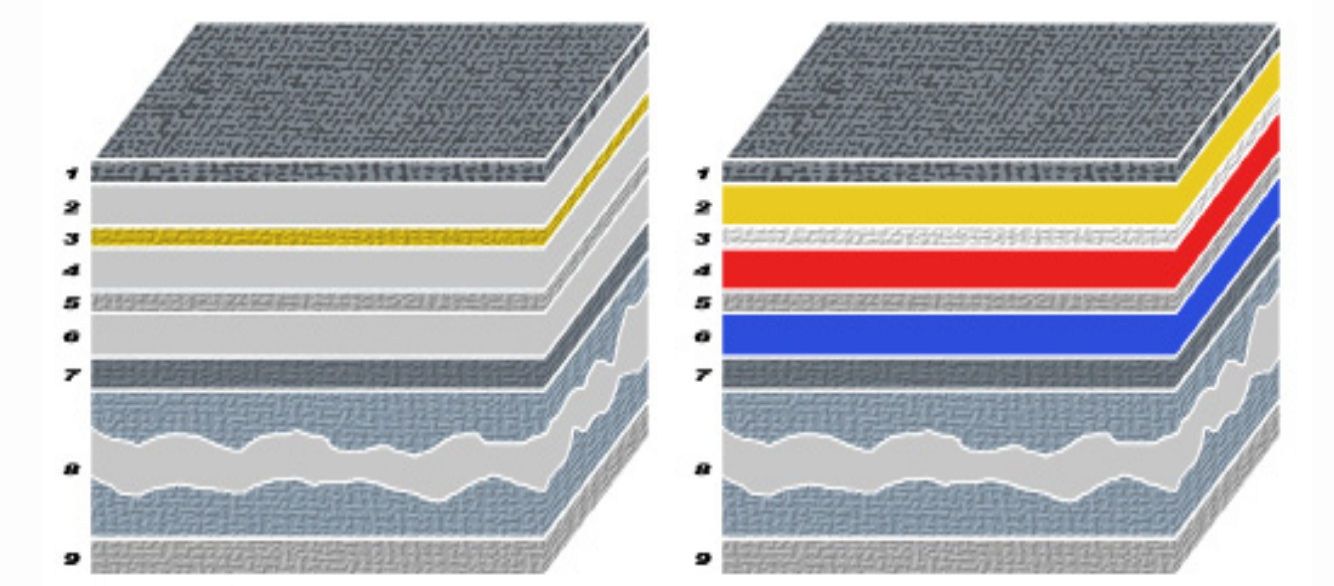
Struttura della pellicola Agfachrome 50 S Professional e Agfachrome Professional (non in scala)

Pellicola non esposta:

1 – strato protettivo di gelatina;
2 – strato sensibile al blu;
3 – strato di filtraggio giallo;
4 – strato sensibile al verde;
5 – strato protettivo in gelatina;
6 – strato sensibile al rosso;
7 – strato antialo;
8 – supporto;
9 – strato NC (rullino e pellicole piane).

Pellicola sviluppata:

1 – strato protettivo di gelatina;
2 – colorante giallo;
3 – strato di filtraggio giallo;
4 – colorante magenta;
5 – strato protettivo in gelatina;
6 – colorante verde-blu;
7 – strato antialo (decolorato);
8 – supporto;
9 – strato NC (rullino e pellicole piane).



2.4 Negativi su supporti vari

I primi fototipi negativi sono i calotipi inventati da Fox Talbot. Si tratta di negativi argentici a uno strato su carta con un trattamento superficiale di cera o olio di lino per rendere trasparente il supporto, dunque riproducibile a contatto. La finitura superficiale tuttavia non rappresenta uno strato a sé perché la sua compenetrazione nel supporto cartaceo non la rende fisicamente distinta durante l'osservazione lenticolare.

Ben presto, la necessità di un supporto perfettamente trasparente portò all'uso del vetro, dapprima con legante all'albumina, poi al collodio (1851) e infine alla gelatina (1871), legante che è rimasto in uso fino ai nostri giorni. Intorno al 1880 anche il supporto in vetro fu progressivamente sostituito con pellicole plastiche, disponibili sia in rotoli sia in fogli a seconda dei formati e dell'uso[13]. Di fatto, i negativi su vetro sono procedimenti a due strati, con l'eccezione delle lastre alla gelatina bromuro d'argento alle quali veniva aggiunta una verniciatura posteriore antialone eliminabile durante le fasi di sviluppo[14].

La nascita delle pellicole seguì il progresso delle applicazioni industriali degli esteri della cellulosa e implicò un aumento del numero degli strati dei negativi in bianco e nero, poiché molto spesso sopra l'emulsione veniva eseguita una verniciatura, e sul *verso*, almeno nelle pellicole in rotolo, aggiunto uno strato di gelatina *anticurl*. Dapprima venne utilizzato nitrato di cellulosa (celluloide, brevetto Goodwin del 1887), poi diacetato di cellulosa (in uso dal 1922), acetato-proprionato e acetato-butirrato (dal 1931), triacetato (dal 1948)[15], policarbonato[16], oppure, a partire dagli anni Cinquanta[17], polietilen(glicol)tereftalato (PET), anche se di fatto il PET arrivò a diffondersi, pur senza sostituire completamente il triacetato, soltanto negli anni Novanta.

Il poliestere venne utilizzato come supporto per le pellicole in piano e per quelle cinematografiche, ma non per i rullini fotografici perché mantiene "memoria" dell'arrotolamento, rendendo difficili le operazioni di sviluppo e stampa. Per questo motivo le pellicole cinematografiche in poliestere sono avvolte in rulli di diametro più grande. Le pellicole prodotte da Kodak agli inizi degli anni Novanta hanno più strati protettivi alla base, quindi a protezione del supporto in triacetato: uno strato di materiale plastico in grani per separare il triacetato dagli strati inferiori, uno strato di lubrificante per ridurre la frizione durante il trascinamento, un polimero antigraffio e una sostanza antistatica.

In nitrato, acetato o poliestere sono anche le pellicole utilizzate per usi radiografici, spesso emulsionate da entrambi i lati, in modo tale da ridurre le dosi di radiazioni necessarie per impressionarle. Trovando applicazione in ambito medico, ma anche nel settore dell'analisi dei materiali e della diagnostica dei beni culturali, le emulsioni si differenziano per sensibilità spettrale (sensibili al blu, ortocromatiche, pancromatiche) e per conformazione finale dell'argento poiché il controllo della "grana" permette il controllo del contrasto[18]. Pellicole piane ad alto contrasto sono necessarie altresì per la reprografia, gli usi fotomeccanici e, in generale, le arti grafiche. Queste sono prodotte in fogli o rotoli, generalmente con emulsione ortocromatica, e presentano una struttura analoga alle altre pellicole fotografiche, con supporto in polistirene, triacetato o poliestere, a seconda delle case produttrici e degli anni di fabbricazione, emulsione a contrasto controllabile durante la fase di sviluppo e *overcoat* in gelatina. Le più note sono Gevalith e Kodalith, diffuse maggiormente in un arco cronologico che va dagli anni Quaranta agli anni Novanta del Novecento[19].

I negativi a sviluppo cromogeno hanno struttura analoga ai positivi descritti precedentemente. Una delle differenze è la presenza della maschera rosso-aranciata anche dopo il trattamento di sviluppo, utile a correggere le componenti cromatiche durante la nuova esposizione, vale a dire in fase di stampa dei positivi. Inoltre, possono essere presenti ulteriori strati di gelatina sia sul *recto* sia sul *verso* delle pellicole, per favorire "l'aggrappo" di colori e coloranti per il ritocco[20].

Nella figura 2.15 viene mostrata una pellicola negativa a colori cromogenica Ilfocolor Super HR 200 con i tre strati costituiti da emulsioni sensibili al rosso, al verde e al blu; la caratteristica è che ognuno di essi risulta formato da due semistrati, di cui uno a bassa e uno ad alta sensibilità. Di seguito sono elencati gli strati della pellicola negativa:

1. strato protettivo;
2. strato assorbente;
3. filtro UV;
4. e 4a. strati sensibili al blu;
5. filtro giallo;
6. strato attivatore;
7. e 7a. strati sensibili al verde;
8. strato attivatore;
9. e 9a. strati sensibili al rosso;
10. antialo;
11. base (supporto).

Per approfondimenti sulle numerose e complesse tecniche fotografiche a colori, utili testi di riferimento sono quelli di Henry Wilhelm e Carol Brower del 1993, di Silvie Pénichon del 2013, riportati in bibliografia[21]. Da ricordare anche il noto "Graphics Atlas" (http://www.graphicsatlas.org/) sofisticato strumento per l'identificazione e la caratterizzazione delle varie tecniche fotografiche, fotomeccaniche e digitali prodotto dall'Image Permanence Institute (Rochester Institute of Technology – RIT) che, nel tempo, è stato implementato con sezioni, sottosezioni e immagini di riferimento.

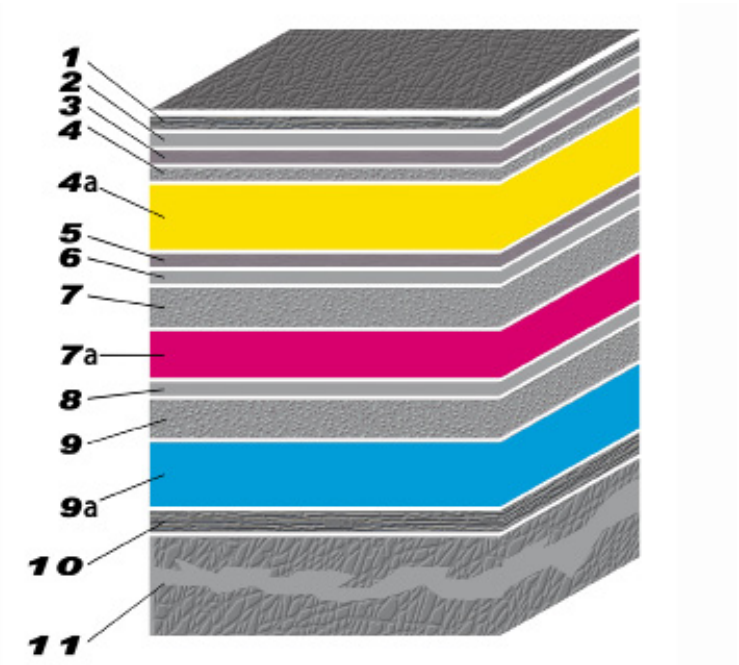


Fig. 2.15

Pellicola negativa a colori Ilfocolor Super HR 200

2.5 Stampe digitali

Le stampe digitali sono ormai il mezzo più diffuso per la produzione di immagini. Pur basandosi su tecnologie diverse per quanto riguarda l'applicazione di colore, una struttura multistrato del tutto simile a quella della fotografia analogica contemporanea accomuna tutti i procedimenti digitali.

Tale struttura consiste in un supporto centrale di varia natura e finitura (carta, carta RC, materiali plastici, tessuti e lamine metalliche), una verniciatura del *verso* con funzione *anticurl* e antistatica e una preparazione sul *recto* tale da permettere la formazione o l'applicazione di colore. Di norma la preparazione è composta da: gelatina, amidi, alcol polivinilico, resine sintetiche AKD (dimero dell'alchilchetene) e ASA (anidride alchenilsuccinica), tutte sostanze normalmente utilizzate nell'industria cartaria per la collatura. Le resine sintetiche hanno la prerogativa di impermeabilizzare le fibre rendendo le carte particolarmente adatte alla stampa a getto d'inchiostro. Lo strato superficiale permette dunque la specificità di ogni singolo procedimento.

La superficie dell'immagine può apparire opaca (*matte*) o lucida (*glossy*) a seconda del materiale utilizzato e della finitura del supporto centrale. Lo strato colore si può formare direttamente all'interno dello strato superficiale come nel caso delle stampe termiche dirette (D1T1, *direct thermal*), in cui l'immagine si forma tramite gli impulsi di calore generati dalle teste di stampe su una *couche* termosensibile. Altrimenti, l'immagine può essere trasferita sulla superficie tramite teste di stampa che operano con pigmenti, cera e resina (stampe a trasferimento termico D1T2, *direct thermal transfer*), o con coloranti, cera e resine (stampe termiche a diffusione di colore, *dye diffusion thermal transfer*, definite anche a sublimazione D2T2, *dye sublimation*), toner in polvere (stampe elettrofotografiche, ovvero fotocopie e stampe laser e LED), toner liquido (stampe elettrofotografiche, laser). Sono anche utilizzati pigmenti dispersi in oli vegetali (inchiostri solidi) o pigmenti nanometrici e coloranti dispersi in acqua, solventi o *media* oleosi (idrocarburi) a seconda delle stampanti utilizzate (stampe a getto d'inchiostro a getto continuo, CIJ *continuous* e DOD *drop on demand*)[22].

Le stampanti a getto d'inchiostro possono utilizzare anche monomeri acrilici che si polimerizzano attraverso l'irraggiamento ultravioletto (UVC) tramite dispositivi costruiti direttamente nella testa di stampa e che trovano principalmente impiego nella stampa digitale d'arte eseguita in macchine in piano[23].

Nella figura 2.16 è possibile vedere la struttura di una stampa termica a diffusione di colore in cui gli strati a partire dall'alto sono:

1. ceratura superficiale;
2. strato ricettore del colore;
3. strato colorato;
4. carta sintetica (3 strati in polietilene o polipropilene opacizzati tramite microforatura);
5. pellicola trasparente;
6. carta sintetica (3 strati in polietilene o polipropilene opacizzati tramite microforatura);
7. pellicola trasparente;
8. carta sintetica (3 strati di polimero plastico opacizzato tramite microforatura);
9. strato *anticurl* e antistatico.

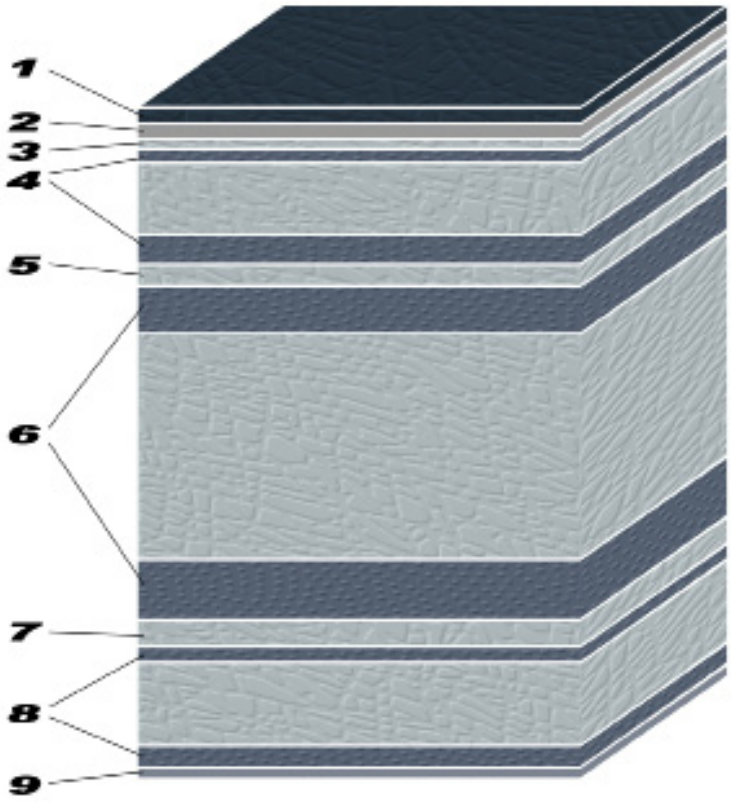


Fig. 2.16

Stampa termica a diffusione di colore D2T2 (non in scala)

Nell'elenco seguente, invece, si propone una carta politenata Epson Color® ottenuta da stampante a getto d'inchiostro. Gli strati a partire dall'alto sono:

1. finitura superficiale;
2. strato poroso per la ricezione dell'inchiostro;
3. strato di polietilene pigmentato con ossido di titanio;
4. supporto di carta;
5. strato di polietilene;
6. strato *anticurl*.

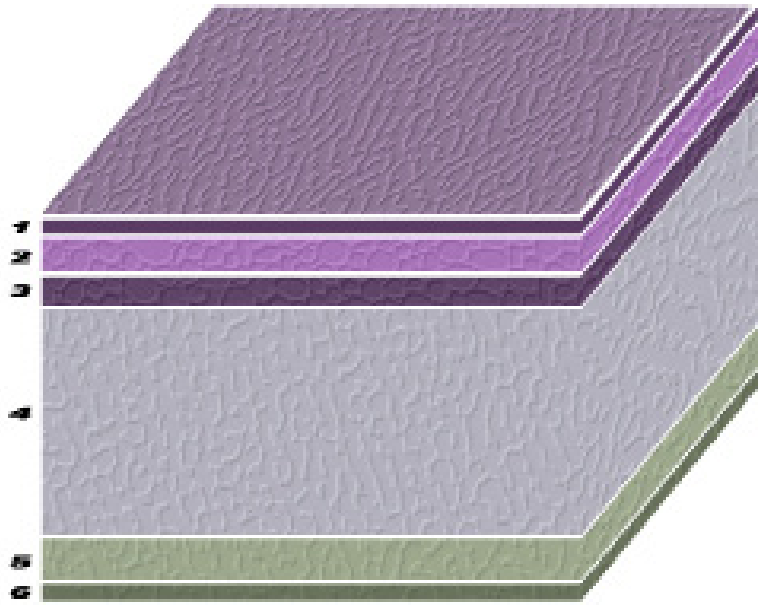


Fig. 2.17

Stampa su carta politenata Epson Color® ottenuta da stampante a getto d'inchiostro (non in scala)

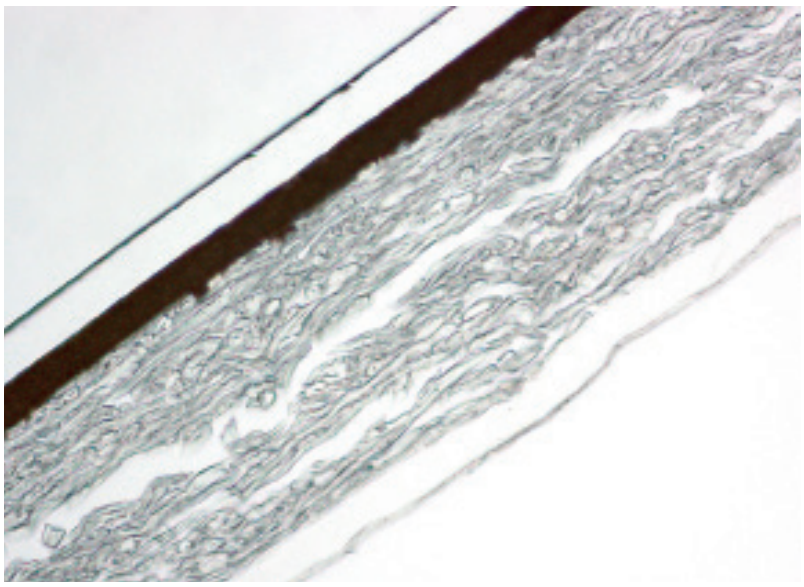


Fig. 2.18

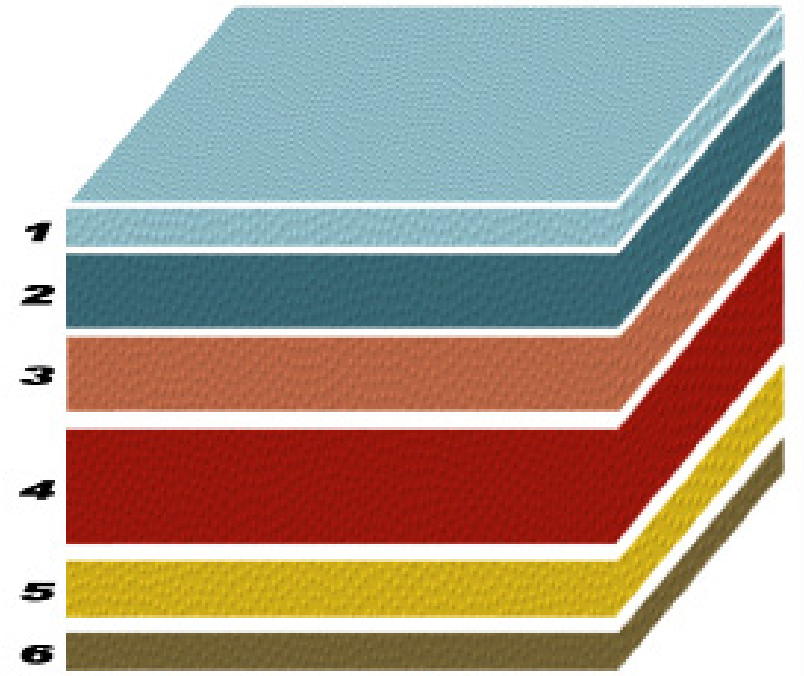
Stampa *inkjet* a pigmenti su carta politenata Epson lucida. Ingrandimento 20x10

Gli inchiostri per questi tipi di stampante possono essere a base di pigmenti oppure di coloranti e la loro penetrazione avviene in modo differente; l'inchiostro a base di pigmenti rimane in superficie, mentre quello a base di coloranti penetra all'interno dello strato poroso (strato n. 2), come si può evincere dall'illustrazione (fig. 2.17) e dalla stratigrafia di una stampa *inkjet* a pigmenti su carta lucida politenata Epson (fig. 2.18). Infine nella figura 2.19 è possibile vedere lo schema di una carta per stampa a getto d'inchiostro Canon Photo Paper Pro II®. Gli strati sono:

1. finitura lucida (*ferrotype* = lucida o *glossy*);
2. strato per la riproduzione/assorbimento del colore (questi due strati superficiali sono preparati con gelatina e allume, mentre altre carte utilizzano gelatina e silice);
3. strato intermedio riflettente;
4. supporto di carta sbiancata senza cloro residuo (ECF);
5. strato intermedio posteriore;
6. strato posteriore.

Fig. 2.19

Schema di una carta a getto d'inchiostro (non in scala)



L'industria della stampa digitale sta vivendo una fase estremamente dinamica e pertanto è difficile rappresentare in questa sede la complessità del settore. Per approfondire la storia e la tecnologia del primo ventennio dell'era digitale si rimanda al volume di Martin Jürgens, conservatore della fotografia presso il Rijksmuseum di Amsterdam, pubblicato nel 2009 e riportato in bibliografia insieme ad altre sue pubblicazioni su tale tematica[24].

Inoltre si evidenzia il "Graphics Atlas", precedentemente citato, e il DP3project.org, sito Web dedicato alla presentazione della ricerca IPI sulla conservazione della stampa digitale. Le informazioni sono rivolte alle tecnologie di stampa digitale, ai vari tipi di deterioramento e alle linee guida per la gestione, conservazione, visualizzazione e denominazione dei materiali. Le notizie

riguardanti le tre tecnologie maggiormente utilizzate (getto d'inchiostro, sublimazione di colore, elettrofotografia) sono contenute nella "IPI' Guide"[25].

2.6 La rinascita dei materiali sensibili a colori

Durante il periodo di maggior difficoltà del mercato analogico, a metà anni Novanta, Polaroid, già in crisi economica, lanciò un nuovo formato fotografico chiamato Polaroid 300, prodotto in realtà negli stabilimenti Fuji. Il formato venne poi commercializzato anche dalla Fuji stessa sotto il nome di Instax Mini, tutt'oggi in vendita. La struttura della pellicola Instax è simile a quella di tutti gli altri materiali a diffusione di coloranti ed è rappresentata in modo chiaro ed efficace nel sito ufficiale Fuji, di cui viene fornito il link in bibliografia[26].

Quando Polaroid liquidò definitivamente il ramo d'industria fotografica, nel 2008, lo stabilimento principale di Enschede in Olanda fu rilevato da ex dipendenti, guidati dal biologo viennese Florian Kaps. Nacque così "The Impossible Project", responsabile della rinascita della ricerca e di un interesse commerciale nei confronti dei prodotti sensibili a colori. Fuji (Instax) e Impossible hanno prodotto entrambe pellicole integrali a diffusione di coloranti, la prima basandosi su una solida ricerca che prosegue dagli anni Ottanta, l'altra grazie alla capacità di reingegnerizzazione del prodotto Polaroid, dismesso soprattutto a causa della messa al bando di alcune sue componenti chimiche a seguito del Protocollo di Montréal (1987). Accanto alla produzione delle cartucce che contengono le 8 pellicole istantanee racchiuse nella cornice di carta e il pacchetto di batterie necessarie all'attivazione dello sviluppo chimico al momento dell'estrusione dalla fotocamera, Impossible, a partire dal 2014, cominciò anche a recuperare, restaurare e rivendere le vecchie macchine fotografiche Polaroid, con apposto il nuovo brand.

La struttura delle pellicole integrali Impossible, il cui *pack* è composto da polistirene, può essere sintetizzata come di seguito descritto.

Lo strato ricevente, che dà origine al positivo finale, è un foglio polimerico che si decolora tramite abbassamento del pH e poi si opacizza grazie a un colorante presente (il quale si attiva al termine dello sviluppo). Al suo interno si trovano, sovrapposti i seguenti strati:

1. acido polimerizzato;
2. polimero con sostanza di attivazione (*timing layer*);
3. mordente polimerizzato che permette la diffusione dei coloranti e il loro fissaggio;
4. strato separatore di gelatina.

A separare il positivo dal negativo sottostante vi è una tasca che contiene un agente di sviluppo in forma colloidale, acqua, alcali, colorante opacizzante blu, indurente e pigmento bianco. Il negativo si articola in:

5. strato di argento sensibile al blu;
6. colorante giallo;
7. strato di argento sensibile al verde;
8. colorante magenta;
9. strato di argento sensibile al rosso;
10. colorante blu;

(tra di essi sono inseriti strati fini di gelatina).

L'esposizione dell'argento crea una barriera e un blocco della migrazione del colorante immediatamente sottostante, lasciando liberi gli strati adiacenti di migrare verso lo strato ricevente, fino a formare l'immagine finale[27]. Mentre le pellicole Fuji possono vantare stabilità e buona saturazione dei colori, le pellicole Impossible hanno avuto all'inizio grandi problemi di applicazione e stabilità, per poi approdare, intorno al 2015, ad un buon livello qualitativo. Impossible vanta un marketing sviluppato, per formati e colori, inclusi il bianco e nero e il "duochrome". Per queste ultime, la tecnologia di produzione resta invariata, muta invece il numero di strati necessari alla formazione dell'immagine.

Il 13 settembre 2017 The Impossible Project è stato ribrandizzato in Polaroid Originals™, in occasione degli ottanta anni dalla fondazione della grande multinazionale Polaroid e dell'immissione sul mercato della nuova macchina fotografica "Polaroid One Step2", dotata di batterie ricaricabili. L'ultima produzione del 2018, la "One Step+" ha inoltre la possibilità di collegarsi all'app Polaroid Originals tramite la tecnologia wireless Bluetooth®, sbloccando diversi strumenti creativi.

Le pellicole di queste ultime macchine, di fatto gli ultimi sforzi della ricerca Impossible, sono contenute in cartucce senza batterie e realizzate con nuovi coloranti, riducendo così l'impatto ambientale del prodotto[28].

Note alle immagini

Figg. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 e 2.18 riprese fotografiche eseguite al microscopio ottico Leitz Dialux 20 munito di fotocamera Leica (24×36), da Pierluigi Manzone. Le fotografie delle sezioni stratigrafiche sono state ottenute con la tecnica del microtomo. Le fasi della preparazione delle sezioni hanno previsto: prelievo delle sottili strisce di campioni (5-10 mm di lunghezza e 2 mm di altezza), impregnazione in paraffina (miscela di idrocarburi solidi) fusa a T di 59-60°C, inclusione in paraffina in *base-mould,* raffreddamento a −20°C, taglio al microtomo, sparaffinatura (mediante immersione in limonene) e montaggio del preparato. Vedi: D. Matè, P. Manzone, *Sezioni stratigrafiche di alcune carte fotografiche monocromatiche*, in *AFT Rivista dell'Archivio Fotografico Toscano*, XXV, 50, 2009, pp. 3-9.

Figg. 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.14a, 2.15, 2.16, 2.17 e 2.19 disegni realizzati da Roberto Bianchi (modificati da: Rempel, *The Care of Photographs*, New York, Lyons Books, 1987; *Agfachrome 50 S Professional, Dati Tecnici, rollfilm, pellicole piccolo formato, pellicole piane*, Milano, Agfa-Gevaert; *Pellicole Agfachrome Professional, Dati Tecnici*, Milano, Agfa-Gevaert).

Note bibliografiche

[1] A. Cartier-Bresson, *Le Vocabulaire Technique de la Photographie*, Paris, Marval, 2008.

[2] L. Residori, *Fotografie, Materiali fotografici, Processi e Tecniche, Degradazione, Analisi e Diagnosi*, Collana I Talenti, Padova, Il prato, 2009; M.R. Peres, *Focal Encyclopedia of Photography. Digital Imaging, Theory and Applications, History, and Scienc*e, 4th rev. ed, Oxford, Focal Press, 2007.

[3] Ilford Ilfochrome, *Deluxe Media Super Glossy*, CPS 1K, scheda tecnica.

[4] P. Morrison, *Solvent effects on silver dye bleach materials*, in *George Eastman House. Advanced Residency Program in Photograph Conservation*, Andrew W. Mellon Foundation, 2005.

[5] L. Stroebel, J. Compton, I. Current, R. Zakia, *Fondamenti di Fotografia. Materiali e Processi*, Bologna, Zanichelli, 1993; S. Pénichon, *Twentieth-Century Color Photographs. Identification and Care*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2013.

[6] L. Scaramella, *Fotografia. Storia e Riconoscimento dei Procedimenti Fotografici*, Roma, De Luca, 1999;

L. Residori 2009, *op. cit.*

[7] L. Stroebel *et al.* 1993, *op. cit.*

[8] B. Lavédrine, J.P. Gandolfo, *L'Autochrome Lumière, Secrets d'Atelier et Défis Industriels*, Paris, CTHS Editions, 2009.

[9] R. Namias, *La Fotografia in Colori: l'Autocromia e Processi con Lastre a Mosaico in Genere, Tricomia Fotografica e Fotomeccanica, Processi Varii per la Fotografia in Colori*, III ed., Milano, Il Progresso Fotografico, 1916.

[10] R. Namias 1916, o*p. cit.*

[11] H. Wilhelm, *Monitoring the fading and staining of color photographic prints*, in *JAIC*, 21, 1, 1981, pp. 49–64.

[12] S. Rempel, *The Care of Photographs*, NY, Lyons Books, 1987; L. Residori 2009, *op. cit.*

[13] S. Rempel 1987, *op. cit.*

[14] L. Residori 2009, *op. cit.*

[15] S. Rempel 1987, *op. cit.*

[16] L. Residori 2009, *op. cit.*

[17] National Film and Sound Archive of Australia, *Base Polymers*, 2019, da: http://www.nfsa.gov.au/preservation/handbook/base-polymers-and-decomposition/film-base-polymers/ (consultato il 15/06/2022).

[18] R.L. Shanebrook, *Making KODAK Film. The Illustrated Story of State-of-the-Art Photographic Film Manufacturing*, Rochester, N.Y., R.L. Shanebrook, Robert Shanebrook Photography, 2010.

[19] M. Storari, F. Di Lorenzo, B. Cattaneo, M. Collina, G. De Cesare, M. Ioele, N. Macro, A.R. Rubino, M. Torre, *"Vortice e figura" di Paola Levi Montalcini: intervento su un'opera polimaterica con supporti fotografici affetti da sindrome acetica*, in *Lo Stato dell'Arte 17*, Chiesa di Cristo Flagellato dell'Ex Ospedale San Rocco, Matera, 10-11-12 ottobre 2019, Firenze, Nardini Editore, 2019.

[20] S. Rempel 1987, *op. cit.*

[21] H. Wilhelm, C. Brower, *The Permanence and Care of Color Photographs. Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides, and Motion Pictures*, Grinnell, Iowa, Preservation Publishing Company, 1993.

[22] M. Jürgens, *The history and conservation of digital prints. Research in progress*, in *Conservation*, The Getty Conservation Institute Newsletter 22, 3, 2007, pp. 4–9; M. Jürgens, *The Digital Print. A Complete Guide to Processes, Identification and Preservation*, London, Thames and Hudson, 2009.

[23] Durst, *Technical Ink Booklet*, 2021, pp. 1–11, da: https://www.durst-group.com/media/p5/brochure/durst_lfp_ink_systems_en.pdf (consultato il 20/09/2021).

[24] M. Jürgens 2009, o*p. cit.*

[25] Image Permanence Institute, *IPI's Guide to Preservation of Digitally-Printed Images*, Rochester, N.Y., Image Permanence Institute – Rochester Institute of Technology, pp. 1–32, 2018, da: https://s3.cad.rit.edu/ipi-assets/publications/dp3_guide.pdf (consultato il 16/06/2022).

[26] FujiFilm, *Data Sheet, Fujifilm Instant Color Film Instax Mini AF3- 076E*, Fuji Photo Film Co, Ltd. Tokyo, pp. 1–4, da: https://asset.fujifilm.com/master/apac/files/2020-06/e2749958c1b417f9b0b3ae0e0a0b55fb/instax_mini_datasheet.pdf (consultato il 16/06/2022).

[27] S. Herchen, *The Impossible Project and the Magic of Analog Instant Photography*, The Impossible Project, contributo orale presentato alla conferenza ICOM-CC PMWG, Photographic Materials Working Group Interim Meeting, The Rijksmuseum Amsterdam, the Netherlands, September 21–24, 2016.

[28] S.C. Steiner, *The Impossible is Possible, Polaroid is Back with the OneStep2*, 2017, da: https://www.bhphotovideo.com/explora/photography/news/the-impossible-is-possible-polaroid-is-back-with-the-onestep2 (consultato il 16/06/2022).

3 L'ambiente di conservazione

Luciana Rossi, Donatella Matè

Un ambiente conservativo deve necessariamente operare una protezione adeguata per i beni alloggiati, considerando tra l'altro che molti manufatti sono particolarmente fragili. Le collezioni fotografiche, nella loro eterogeneità e complessità materica, sono a rischio di danni di varia natura; un ambiente dedicato opportunamente studiato è sicuramente in grado di prolungarne l'aspettativa di vita.

Quando si parla in generale di ambienti di conservazione non si parla solo dell'edificio o dei locali interni ma anche del sito che deve essere valutato e che deve proteggere dagli inquinanti chimici e biologici, dagli eventi atmosferici avversi e naturalmente dalle ulteriori calamità naturali. Questo approccio aiuta a fornire un quadro completo per attuare il processo decisionale utile a stabilire le condizioni conservative più appropriate.

Sulla base delle evidenze si deve procedere alla valutazione della vulnerabilità ai vari fattori (interni ed esterni all'edificio) e a definire le misure (preferibilmente quelle di tipo passivo) più idonee a mitigare i rischi. Quindi sia che venga scelto un nuovo sito, sia che venga preso in considerazione un edificio già esistente, è necessario effettuare una valutazione del rischio tenendo conto di tutti quei pericoli tali da comportare la perdita parziale o totale delle collezioni. La valutazione del rischio, fase fondamentale del *Risk Management* verrà trattata ampiamente nel Capitolo 13.

In questo capitolo, a partire dal concetto di ambiente, saranno discussi i principali requisiti richiesti affinchè un edificio/locale (deposito) possa essere considerato idoneo per una conservazione a lungo termine, senza dimenticare però che archivi, biblioteche, gallerie, musei e altre istituzioni culturali, devono preservare i loro beni cercando il più possibile di ridurre al minimo l'impatto sulle risorse e sul clima, tenendo conto degli obiettivi della sostenibilità e del risparmio energetico (vedi §§ 1.6 e 4.7).

3.1 Definizione di ambiente di conservazione

La parola ambiente deriva dal latino *ambiens,* forma participiale del verbo *ambīre* la cui traduzione letterale è: "circondare, cingere". Essa identifica, in senso generico, tutto ciò che circonda un essere vivente o un oggetto inanimato. In questo significato era implicita una visione antropocentrica del mondo, un senso di centralità dell'uomo capace di plasmare, gestire l'ambiente che lo circonda. In natura, come in ecologia, l'ambiente dalla Treccani è così definito[1]: «Tutto ciò che circonda e con cui interagisce un organismo.»

Dal punto di vista ecologico un ambiente rispetto ad uno specifico organismo è caratterizzato da alcune componenti:

- spazio in cui l'organismo vive;
- insieme delle risorse presenti all'interno di tale spazio e indispensabili a garantire la vita all'organismo;
- interrelazioni che sussistono tra l'organismo e gli altri esseri viventi presenti in tale spazio;
- condizioni fisiche, chimiche, biologiche in cui si svolge la vita dell'organismo.

Nella nuova visione, proposta dalla comunità scientifica, il concetto di ambiente si deve intendere come una rete di relazioni in un ecosistema nel quale tutto è connesso e conseguente e nel quale diventa inscindibile il binomio ambiente/salute. L'ambiente è dunque costituito dalla interazione tra componenti naturali e antropiche. Esso non è solo però un insieme di elementi di un sistema, ma anche un soggetto dinamico che interferisce e influenza profondamente il complesso dei fenomeni che vi si verificano. In tale accezione questo concetto è stato applicato alla vasta disciplina della conservazione del patrimonio culturale. Sono infatti le interazioni con l'ambiente di conservazione/collocazione/esposizione a condizionare, nella maggior parte dei casi, lo stato conservativo dei manufatti.

La definizione contenuta nella norma italiana UNI 10829:1999 si applica correttamente all'ambiente *indoor*: «Spazio confinato di volumetria più o meno grande, destinato alla conservazione di manufatti.»

Nello standard europeo EN 15898:2012 l'ambiente viene, invece, così individuato: «Zona circostante l'oggetto, alcuni aspetti della quale possono influenzarne lo stato di conservazione», ove per aspetti si fa riferimento a quelli di origine umana, fisica, chimica, biologica o climatica[2]. L'ambiente, in questa seconda definizione, assume il significato proprio della conservazione e cioè quello di luogo capace di influenzare in maniera determinante lo stato del bene ivi contenuto. Non si deve dimenticare che le fotografie, formate da uno stratificato insieme di componenti organiche e inorganiche (vedi Capitolo 2), sono tra i beni più sensibili e reattivi alle sollecitazioni provenienti dal contesto di inserimento[3].

Alla caratterizzazione complessiva delle strutture architettoniche — in funzione della loro capacità di esercitare una efficace protezione del patrimonio sia dal punto di vista della sicurezza sia conservativo —, concorrono numerosi fattori esterni e interni ai luoghi quali:

- l'ubicazione geografica;
- l'orientamento;
- le caratteristiche idrogeologiche e di sismicità;
- il tipo di edifici;
- lo stato di conservazione degli edifici;
- la ventilazione ecc.[4]

Questi fattori potranno essere valutati in tutti i loro molteplici aspetti, senza trascurare le reciproche influenze e sinergie, solo attraverso un lavoro interdisciplinare di esperti (ingegnere, architetto, fisico, chimico, biologo, geologo, diagnosta ecc.).

L'impegno di risorse umane, professionali ed economiche, rivolto allo studio di luoghi ed edifici, alla scelta di ambienti più idonei per le specifiche destinazioni d'uso, al rilevamento, analisi e miglioramento dei parametri ambientali, all'ottimizzazione degli spazi, allo sfruttamento dei volumi, alla razionalizzazione della gestione interna, potrà tradursi in un tale guadagno nella qualità della conservazione da costituire nel tempo un risparmio in termini di risorse necessarie per interventi di restauro o di messa in sicurezza, adeguamenti strutturali e impiantistici e molto altro ancora.

Ogni sforzo condotto al fine di perseguire una buona politica di prevenzione deve passare attraverso l'analisi delle condizioni ambientali di conservazione, sia nei depositi sia durante gli eventi espositivi. Sulla base dei dati emersi, la minimizzazione del rischio di danno potrà poi esplicarsi nella definizione di eventuali interventi/modifiche atti a migliorare il microclima de-

gli ambienti per renderli idonei a contenere i beni culturali come i materiali fotografici. In tal modo verrà determinata di fatto la linea di demarcazione tra la possibilità di dare un futuro ai beni, che il passato ci ha lasciato, e la probabilità (elevata) che essi vadano distrutti.

3.2 Requisiti generali

Il patrimonio fotografico italiano, variamente dislocato su tutta la Penisola e quindi inserito in una pluralità di ambienti differenti per clima, livello di urbanizzazione e territorio, è custodito prevalentemente in archivi, biblioteche e musei, e ospitato in gran parte in edifici storici[5] (anche di elevato interesse culturale, D.Lgs n. 42/2004, art. 136 "Immobili ed aree di notevole interesse pubblico") ma altresì moderni o costruiti *ad hoc*, pur se non sempre rispondenti a criteri conservativi, come risulta tra l'altro evidenziato da una indagine condotta (2007) dal Gruppo di lavoro "Aerobiologia e Beni Culturali"[6], costituitosi agli inizi degli anni Novanta nell'ambito dell'Associazione Italiana di Aerobiologia (AIA).

Tale diversità di situazioni, da considerare e valutare caso per caso, incide profondamente sulle caratteristiche ambientali (termoigrometriche, di qualità dell'aria, di luce, di ventilazione ecc.) dei locali di deposito ubicati all'interno degli edifici, risultandone un quadro di volta in volta diverso, comunque complesso e difficilmente riconducibile a modelli standard, data la molteplicità di fattori influenti e le loro combinazioni possibili.

Seguendo un ideale percorso di "avvicinamento" ai beni oggetto di conservazione, verso un progressivo grado di contatto con le opere, vanno considerati i principali elementi che hanno influenza sul livello di protezione esplicato dai luoghi di conservazione, a partire dall'ambiente esterno.

1. Il clima (dal greco κλίμα: inclinazione della Terra), definibile come il complesso delle condizioni meteorologiche che caratterizzano una località o una regione nel corso dell'anno, è determinato da fattori che agiscono sull'atmosfera terrestre e sui fenomeni che ivi si generano. I fattori in questione sono: intensità della radiazione solare, temperatura dell'aria, pressione atmosferica, umidità dell'aria, precipitazioni meteoriche, ventilazione, copertura del cielo. In massima parte il clima dipende dell'inclinazione dei raggi solari sulla superficie della Terra al variare della latitudine. Il clima gioca un ruolo importante nella conservazione e sebbene l'Italia (percorsa da due catene montuose che tracciano una linea quasi continua da nord a sud e lambita dal mare su tre lati), rientri in gran parte in una fascia di clima temperato (o mesotermico), in cui le estati sono calde e secche e ad esse seguono autunni e inverni relativamente tiepidi e umidi con moderate precipitazioni, lungo il suo territorio si distribuiscono almeno 5 tipi di zone climatiche (il passaggio da una zona climatica all'altra zona è graduale) contraddistinte da:
   - medie termiche;
   - gradi di irraggiamento solare;
   - piovosità;
   - ventosità;
   - aridità o umidità differenti;
   - escursioni termoigrometriche di ampiezza e frequenza più o meno variabili con i cicli stagionali e/o giornalieri[7].

Per l'esattezza, in base al D.P.R. del 16 aprile 2013, n. 74, il territorio nazionale è suddiviso (art. 2 – Individuazione della zona climatica e dei gradi giorno) in 6 zone climatiche in funzione dei gradi giorno (ottenuti dalla sommatoria della differenza tra la temperatura di riferimento interna e la temperatura media giornaliera esterna, indipendentemente dalla ubicazione geografica). In merito ai tipi di clima, viene presentata la classificazione del clima italiano dal solo punto di vista termico[8] (fig. 3.1), elaborata dal geografo e climatologo Mario Pinna, in cui è possibile visualizzare i climi temperati. La classificazione, scaturita da un esame dei dati di tutte le stazioni termiche disponibili, ma soprattutto dalla temperatura media annua, da quella dei mesi estremi e dai valori di escursione, è stata redatta sulla base dello schema generale sviluppato dal metereologo russo Vladimir Köppen nel 1918 (poi modificato fino all'edizione definitiva del 1936). La classificazione di Pinna, ad oggi, rappresenta ancora quella di maggiore rilevanza. Si può notare che oltre ai climi temperati (subtropicale, temperato caldo, sublitoraneo, subcontinentale, temperato fresco) vi sono quelli temperato freddo e freddo. Nella figura sono elencate le caratteristiche di suddivisione in base alla *legenda*.

– Clima temperato di tipo C di Köppen: media del mese più freddo inferiore a T= +18°C ma superiore a T= −3°C, mese più caldo maggiore di T= +10°C.

– Clima temperato freddo di tipo D: media del mese più freddo inferiore a T= −3°C ma quella del mese più caldo superiore a T= +10°C.

– Clima freddo di Tipo E: media del mese più caldo inferiore a T= +10°C.

2. Il rischio ambientale è connesso a problemi specifici legati al territorio quali:

   – vicinanza di fiumi, torrenti, canali, lagune con reali possibilità di esondazioni;
   – alluvioni;
   – franosità;
   – rischio sismico;
   – bradisismi (lenti movimenti di sollevamento o di abbassamento legati al vulcanismo) ecc.

   Ci si dovrà accertare che siano stati predisposti provvedimenti di carattere strutturale, strategie di intervento e piani di emergenza per assicurare al patrimonio conservato negli edifici situati in tali aree, adeguati livelli di sicurezza (vedi Decalogo ICOM approvato dall'Assemblea nazionale dei soci ICOM Italia il 10 ottobre 2016)[9]. In merito al rischio meteo-idrogeologico e idraulico, ove vi rientrano gli effetti sul territorio determinati da "condizioni meteorologiche avverse" e dall'azione delle acque in generale (siano esse superficiali, in forma liquida o solida, o sotterranee), si deve considerare che l'Italia è uno dei paesi europei maggiormente interessati da fenomeni franosi (la mappa di pericolosità e di rischio viene redatta e aggiornata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA, tenendo conto anche degli impatti derivanti dai cambiamenti climatici). La prevenzione, a questo proposito, deve fare anche tesoro delle trascorse negative esperienze di danni al patrimonio causati da eventi eccezionali e catastrofici (quali ad esempio il Centro Studi Cesare Pavese con i suoi fondi librari e archivistici, a Santo Stefano Belbo, travolto dall'esondazione



Fig. 3.1

Carta della classificazione dei climi in Italia elaborata da Mario Pinna

di Tanaro e Belbo nel 1994, la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze colpita dall'alluvione nella notte tra il 3 e 4 novembre 1966, dopo giorni di pioggia incessante, con danni a più di un milione di unità bibliografiche, la Biblioteca Nazionale Universitaria di Torino danneggiata da un incendio scoppiato nella notte fra il 25 e il 26 gennaio del 1904 che ha deteriorato numerosi fondi manoscritti o, in tempi più recenti, l'alluvione del 2011 — con l'esondazione del fiume Magra arrivando a raggiungere i quattro metri d'altezza — che ha distrutto la Biblioteca Comunale di Aulla), nell'ottica di un continuo e crescente miglioramento e affinamento della capacità di fronteggiarli. In particolare gli eventi sismici degli ultimi vent'anni: Marche e Umbria del 1997, Abruzzo del 2009, Emilia del 2012, Marche, Umbria, Abruzzo, Lazio del 2016, han-

no evidenziato maggiormente che la gestione di tale problematica, in un territorio indicato come uno dei più critici a livello mondiale, assume sempre di più un attuale e urgente significato. Si deve infatti considerare che l'Italia è classificata come sismica a diversi, significativi livelli di pericolosità per ca. il 70%, valutazione ottenuta con l'approccio probabilistico nella definizione dell'*input* sismico PSHA, *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*[10], usato da oramai cinquant'anni. In base alla classificazione della Protezione Civile il nostro Paese ad alto rischio per la sua particolare posizione geografica, nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica, è suddiviso in 4 zone in cui la probabilità che capiti un forte terremoto risulta:

- alta;
- possibile;
- meno probabile (rispetto alle prime due);
- molto bassa.

Unitamente al rischio sismico è da considerare il rischio vulcanico (anche se trascurabile rispetto al sismico), infatti l'Italia, insieme all'Islanda, presenta la maggiore concentrazione di vulcani attivi in Europa. Facendo ancora riferimento al rischio acqua (oltre a quello di origine naturale può essere determinato anche ad esempio dalla rottura di tubature, da infiltrazioni dai tetti ecc.) di cui prima si è accennato, esso rappresenta un grave pericolo in quanto se non trattato entro le 48 ore circa (quando T >20°C ca. e UR >60% ca.) può favorire lo sviluppo di microrganismi. Per tale motivo è opportuno intervenire immediatamente dopo avere messo a punto un inventario dei beni interessati dall'emergenza, indicando il livello di priorità di salvataggio (fase operativa di recupero) e seguendo le linee di attività di pronto intervento dettate dai maggiori centri di conservazione. Si fa presente che il livello di priorità è strettamente correlato alle tipologie di materiali fotografici più o meno sensibili all'acqua (ad esempio la gelatina è il componente che più risente di questo elemento) e alla presenza eventuale di montaggi che possono essere composti da materiali diversi. Una delle azioni prioritarie è proprio quella di rimuovere le fotografie da cornici, montature o *passe-partout*, facendole asciugare appese o distese su carta assorbente (avendo sempre cura di rivolgere l'immagine verso l'alto). In merito alle criticità delle varie tipologie di materiali fotografici e alle priorità di intervento, si può fare riferimento al "PMG Emergency Response, Salvage, and Recovery Techniques", strumento indicativo per gestire le emergenze, messo a punto dal PMG dell'American Institute for Conservation, Conservation Wiki – AIC e alla letteratura specializzata.

3. La vicinanza di siti industriali potenzialmente pericolosi quali industrie chimiche, raffinerie, depositi di materiali esplosivi e infiammabili, rende indispensabile, qualora non fosse possibile trasferire in area più sicura il patrimonio, prendere i provvedimenti necessari per ridurre al minimo i rischi[11]. In caso di edifici di nuova costruzione è importante prevedere distanze minime di sicurezza dai siti pericolosi e accessibilità al sito, inoltre è opportuno predisporre aree dotate di parcheggio per i mezzi di soccorso antincendio nonché per il carico e lo scarico di materiali da depositare ecc.
4. L'ubicazione delle strutture architettoniche ospitanti le collezioni in vari tipi di aree territoriali:
   - urbane (centri storici);

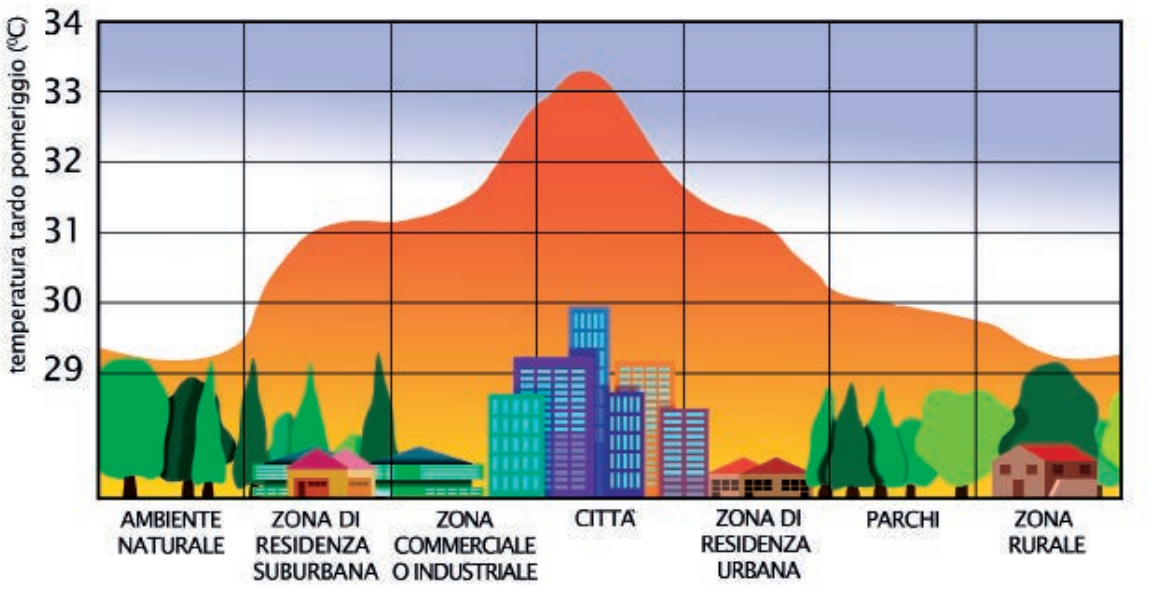


Fig. 3.2

Isola di calore urbano (*urban heat-island effect*)

- extraurbane;
- industriali;
- semiperiferiche;
- periferiche;
- rurali;
- aree verdi.

Al centro di grandi città, ad esempio, a causa dell'elevato traffico veicolare e della massa di edifici, che ostacolano la ventilazione e la dispersione del calore, si crea una "isola di calore" (fig. 3.2), una sorta di "campana", in cui resta intrappolata energia termica che determina temperature superiori anche di 6-7°C rispetto alle aree circostanti. Nell'area urbana la temperatura media infatti può subire variazioni di alcuni gradi nell'arco delle quattro stagioni. Il fenomeno microclimatico, presente a tutte le latitudini e individuato in metropoli situate in ogni regione climatica, comporta l'innalzamento della temperatura, sia in estate sia in inverno (con diminuzione dell'umidità relativa). Il significativo incremento della temperatura è principalmente dovuto alle caratteristiche tecniche e radiative dei materiali nell'ambito della città rispetto alle zone limitrofe. L'intensità del fenomeno è influenzata da:

- posizione geografica;
- momento temporale considerato;
- condizioni meteorologiche. Le variabili meteorologiche che maggiormente controllano l'intensità sono la velocità del vento e la nuvolosità, poiché modificano rispettivamente la turbolenza atmosferica e l'irraggiamento solare[12].

Inoltre l'isola influisce sensibilmente sul sistema di assorbimento e cessione del calore nell'atmosfera e contribuisce a stravolgere i movimenti dell'aria, riducendone la circolazione, con un conseguente drastico calo della diluizione degli inquinanti. Le cause dell'effetto isola di calore determinano una differenza tra bilancio energetico superficiale delle aree rurali e urbane; lo studio dei componenti dell'equazione che esprime il principio conservazione dell'energia aiuta ad associare l'alterazione alle cause che la determinano[13]. Espressione

del bilancio energetico applicato ad una superficie è dato dalla radiazione dovuta alla somma dei flussi di calore:

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G \qquad (3.1)$$

Q^* = radiazione netta
Q_H e Q_E = flusso di calore turbolento sensibile e latente
Q_G = flusso di calore scambiato per conduzione con il suolo

Tali flussi hanno valori diversi tra giorno e notte, variano inoltre a seconda della stagione, delle condizioni meteorologiche, del contenuto d'acqua nel terreno e del tipo di suolo. La causa principale di esso è la modifica della superficie terrestre nella zona urbana in cui la vegetazione viene sostituita da superfici edificate. Anche le attività umane contribuiscono al riscaldamento di queste aree sia direttamente (attività industriali, traffico veicolare, impianti di riscaldamento/condizionamento ecc.) che indirettamente (alterando le proprietà radiative dell'atmosfera per gli alti livelli di inquinamento). L'isola di calore non ha una influenza significativa sul riscaldamento climatico globale, come asserito da molti climatologi, ma solo per una percentuale dal 2% al 4% ca. Il 18% ca. del riscaldamento climatico globale è attribuibile alle polveri nere (fuliggine, polveri carboniose, incombusti ecc.) provenienti dalla combustione di combustibili fossili, mentre il 79% del riscaldamento climatico "netto" globale osservato è originato dai gas serra e da tutte le altre emissioni che hanno effetti termici in atmosfera[14].

5. La collocazione degli edifici in centri storici e aree industriali in cui è altamente probabile la presenza di elevate concentrazioni di inquinanti gassosi e particolati nocivi (come già sopra evidenziato) per i beni culturali e in particolare per il patrimonio fotografico dal punto di vista chimico, fisico e biologico[15] (vedi Capitolo 6): Si fa riferimento a:
   - ossidi di zolfo, ossidi di azoto, monossido di carbonio, particolato $PM_{2,5}$, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), particolato totale sospeso PTS, ozono e polveri fini inalabili e respirabili PM_{10} in gran parte adsorbiti dal particolato atmosferico, benzene, formaldeide, composti organici volatili in generale ecc.;
   - componente biologica dell'aria, costituita da piccoli frammenti di vegetali e animali di facile diffusione, importante veicolo di microrganismi (batteri, virus, funghi), pollini delle piante (provenienti soprattutto dall'ambiente esterno), acari (vedi Capitolo 7).

   Inquinanti chimici e particelle biologiche aerodisperse rappresentano altresì un problema sanitario, infatti l'esposizione può essere causa di effetti negativi sulla salute (vedi Capitoli 6 e 7). Come inquinamento di tipo fisico si deve fare attenzione alle possibili sorgenti di vibrazioni.
6. La presenza nelle strette vicinanze dell'edificio, di vegetazione, oppure il contatto diretto delle superfici esterne con rampicanti o ancora la sistemazione limitrofa di raccoglitori di rifiuti o di aree con rifiuti organici, possono rappresentare un richiamo per alcune tipologie di infestanti – *pests* (roditori, artropodi) tra l'altro in grado di attirare altre specie animali (vedi Capitolo 8). In questo caso fessurazioni e aperture devono essere sigillate per evitare il possibile ingresso di tali organismi. Anche le prese d'aria di immissione ed estrazione degli impianti di condizionamento devono avere in dotazione filtri o schermi.

I requisiti di un edificio adibito a contenitore devono quindi garantire sicurezza ambientale e strutturale intendendo con quest'ultima la stabilità (dell'edificio) e delle strutture nei confronti di qualsivoglia "azione" comprese quelle ambientali tra cui: vetustà, sovraccarichi statici e dinamici, azioni conseguenti a dissesti idrogeologici o metereologici ecc., come definito dall'Atto di Indirizzo (2001). Due importanti norme di riferimento per tali tematiche sono la ISO 11799:2015 e la UNI EN 16893:2018[16]. Nella prima sono contenute le indicazioni generali per una valutazione complessiva di necessità e rischi che si possono presentare, esaminando i possibili pericoli. Al punto 3 – *Risk management*, si specifica che per il sito scelto come archivio, biblioteca, museo, si dovrebbero infatti considerare i rischi da: allagamenti, terremoti, cedimenti/frane, tsunami, frequenti attività vulcaniche, attività a rischio di incendio ed esplosione nonché siti vicini ad installazioni strategiche (prese di mira in caso di conflitto armato, attacco terroristico o disordini civili), installazioni o fonti naturali che emettano gas nocivi, fumo, polveri ecc. Nella norma europea UNI EN 16893 vengono fornite, invece, indicazioni in merito alla scelta del luogo, alla costruzione e all'adattamento di edifici finalizzati al deposito permanente o all'esposizione temporanea di ogni tipo di collezione. Come prima azione da effettuare vi è la valutazione del rischio per identificare e documentare i pericoli che possono comportare la perdita della collezione oppure provocare danni importanti. Inoltre, nel momento in cui si debba procedere ad una ristrutturazione con apporto di eventuali modifiche, questo intervento può essere vietato in un edificio storico protetto.

Per quanto riguarda il "rischio sismico", si vuole evidenziare la Circolare n. 15/2015 emanata dal M*i*BAC[17] (Segretariato generale) il cui scopo è quello di sensibilizzare tutte le figure che gestiscono il patrimonio culturale ad avere un atteggiamento più consapevole di tale rischio, evidenziando così l'importanza della prevenzione. Si impone quindi la necessità di una scrupolosa opera di messa in sicurezza degli edifici ospitanti archivi, biblioteche e musei, tra l'altro di "interesse strategico" (come strutture destinate ad attività culturali), la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile. Ovviamente ogni decisione deve essere sottoposta al parere di professionisti esperti.

In merito si sottolinea l'istituzione (D.M. del 29 maggio 2012) dell'Unità di Crisi e Coordinamento Nazionale, struttura organizzativa da attivare in occasione di emergenze derivanti da calamità naturali per il monitoraggio e il coordinamento delle attività connesse alla salvaguardia del patrimonio culturale: UCCN-M*i*BAC[18], modello di gestione delle emergenze da calamità naturali e relativo aggiornamento (Direttiva M*i*BACT del 23 aprile 2015 – aggiornamento della Direttiva del 12 dicembre 2013)[19]. Il Ministero ha in tal modo previsto il coordinamento tra le articolazioni centrali e quelle periferiche in sinergia anche con le strutture esterne all'amministrazione deputate alla gestione delle emergenze: Comando Carabinieri TPC, Dipartimento VV FF, Protezione Civile, Enti locali e Prefetture. In questo ambito si è attuata la ridefinizione della struttura operativa (Allegato 3)[20] per la gestione delle attività di messa in sicurezza del patrimonio culturale in caso di calamità naturali. Con Decreto M*i*BACT del Segretariato generale n. 121 del 26 marzo 2020 è stata poi aggiornata l'UCCN. Infine, con Circolare n. 3/2021 della DGSPC – MiC, è stato prodotto un documento che ha come scopo quello di definire il coordinamento tra i vari soggetti coinvolti nella gestione di una situazione emergenziale, le fasi iniziali inerenti la valutazione speditiva dell'impatto e di rilievo del danno, nonché l'agibilità delle strutture sia pubbliche che private.

In relazione agli ambienti di conservazione — intesi come depositi di sicurezza — al fine di salvaguardare il patrimonio culturale mobile in situazioni di emergenza, si segnalano le "Linee guida per l'individuazione, l'adeguamento, la progettazione e l'allestimento di depositi per il ricovero temporaneo di beni culturali mobili". Prodotte dal MiC, nel 2022[21], queste indicazioni costituiscono un utile supporto per individuare, progettare e realizzare nuovi depositi o rifunzionalizzare edifici esistenti da adibire al ricovero temporaneo di beni danneggiati a seguito di eventi calamitosi di varia natura ed entità.

3.3 Caratteristiche degli ambienti *indoor*

Una completa campagna di monitoraggio ambientale preliminare all'immissione dei beni (con rilevamenti di temperatura e umidità relativa eseguiti per almeno un anno e indagini sulla qualità dell'aria), condotta contemporaneamente sia all'esterno degli stabili sia all'interno (associata a un'indagine termografica per individuare eventuali fasce fredde e infiltrazioni di umidità unitamente a una schedatura ambientale), fornirà le informazioni atte a evidenziare i fattori di rischio, a valutare l'idoneità degli ambienti destinati ad archivio/biblioteca/museo e a indicare i necessari interventi correttivi[22].

Gli elementi di valutazione del livello di protezione offerto dagli stabili risiedono nelle caratteristiche costruttive e architettoniche, in particolare nei materiali e nelle tecniche di costruzione che ne caratterizzano lo stato di inerzia termica e il grado di isolamento, nell'elevazione dal terreno, nell'estensione delle superfici vetrate. In linea di massima locali siti in edifici in cemento armato, con mura relativamente sottili, risentiranno del clima esterno e delle sue variazioni più velocemente e in misura maggiore rispetto a quelli posti in un edificio antico con spesse murature di pietra. L'influenza sarà tanto maggiore quanto minore sarà l'isolamento e maggiore l'estensione delle superfici vetrate. Un altro importante fattore è la compatibilità chimica di alcuni prodotti per l'edilizia (rivestimenti, vernici) che possono sviluppare nel tempo vapori e/o polveri dannosi per i materiali conservati; le emissioni possono durare anche diversi anni soprattutto in ambienti chiusi.

A questo proposito la UNI EN 16893:2018, sottolinea che in alternativa è possibile usare vernici a base di gomma, gelatina, caseina e silicati per opere in laterizio, di muratura e calcestruzzo; inoltre indica che le emissioni di inquinanti da parte degli edifici e delle finiture ambientali si possono ridurre utilizzando materiali barriera o smalti protettivi.

Molte situazioni di difficoltà nella protezione delle collezioni originano dallo stato di conservazione degli stabili. In fabbricati storici pregevoli ma di difficile o complessa manutenzione o in cui la ristrutturazione o l'adeguamento impiantistico sono limitati da vincoli, in strutture trascurate o in condizioni scadenti possono verificarsi fenomeni di condensa, risalita capillare, infiltrazioni meteoriche, allagamenti, percolamenti (per la cattiva tenuta di coperture, impermeabilizzazioni, murature, infissi, gronde, discendenti), guasti e degrado degli impianti idrici e di termoregolazione. I microrganismi che si sviluppano sulle superfici molto umide o bagnate si propagano facilmente negli ambienti contaminando quanto in essi alloggiato, inoltre la presenza di acqua allo stato liquido, determinando incrementi incontrollati di umidità relativa (vedi Capitolo 4), crea condizioni che favoriscono attacchi biologici e danni fisici e chimici ai beni. L'umidità all'interno dei muri può

provocare disgregazione, frantumazione, sfarinamento ed efflorescenze degli strati murari superficiali che creano pulviscolo e/o cadute di materiale con conseguenze anche gravi per le opere eventualmente a contatto (graffi, rotture, decolorazioni ecc.). È dunque appena il caso di sottolineare quanta importanza rivestano periodiche ispezioni, verifiche tecniche, manutenzioni delle strutture e degli impianti di stabili adibiti in tutto o in parte alla conservazione dei beni, a prescindere dalla loro vetustà[23].

Altri problemi sono associati agli elementi aggiunti, ai prefabbricati, ai magazzini, ai capannoni e ai locali industriali non sufficientemente coibentati[24] che sono da considerarsi inidonei. In mancanza di alternative converrà affidare a tecnici qualificati la verifica dei luoghi, degli impianti e delle strutture per valutarne lo stato e individuare le necessarie migliorie.

Altresì dall'attenta scelta dei locali da adibire a deposito, dipenderà in gran parte la buona conservazione dei materiali che vi saranno collocati. Si dovrà porre particolare attenzione nel selezionare quelli più adatti, in relazione alla loro ubicazione negli edifici, anche in funzione della minimizzazione degli interventi correttivi da apportare, fattore non trascurabile in tempi di limitate risorse economiche.

Nella tabella 3.1 sono schematicamente indicate le ubicazioni preferibili e quelle meno raccomandate per tale uso.

Tabella 3.1– Ubicazioni preferibili e sconsigliate per locali adibiti a deposito.

UBICAZIONI PREFERIBILI	1. Aree separate da quelle di lavoro ma, per motivi strettamente pratici, non lontane da quelle di consultazione. 2. Vani situati ai piani intermedi degli edifici. 3. Zone interne, meno soggette all'influenza del clima esterno e degli inquinanti. 4. Locali privi di finestre o con il minimo numero di aperture, preferibilmente con affaccio su cortili interni, per limitare escursioni termiche, luce, irraggiamento solare, penetrazione di inquinanti. 5. Orientamento a nord: mediamente più fresco, ma con lo svantaggio che eventuali muri esterni potrebbero essere soggetti a condensa e a sviluppo microbico, inconveniente superabile migliorando il livello d'isolamento termico.
UBICAZIONI SCONSIGLIATE	1. Piani terra, seminterrati, terrapieni: sebbene siano freschi possono essere caratterizzati da valori elevati di umidità relativa e/o soggetti a risalite capillari. Per l'utilizzo come depositi occorrono approfondite verifiche tecniche e radicali interventi di risanamento ambientale. 2. Sottotetti e sotto lastrici solari: soggetti ad elevati sbalzi climatici, possibili infiltrazioni di acque meteoriche, difficoltà di climatizzazione estiva per il notevole *gap* termico da superare. 3. Soppalchi: scarsa accessibilità, portanza limitata, formazione di gradienti termici. 4. Vani prospicienti strade trafficate. 5. Locali adiacenti a giardini e/o fitta vegetazione anche rampicante: rischiosi per il possibile ingresso di artropodi e/o roditori (*pests*) e per incrementi di umidità relativa ambientale. 6. Prossimità di fotocopiatrici, centri elettronici, potenti server che causano: inquinamento *indoor* da ozono (gas ossidante dannoso per i materiali), attrazione elettrostatica di polveri. 7. Contiguità con laboratori, officine, falegnamerie: origine di polveri, vapori, vibrazioni.

Quanto ai requisiti specifici degli ambienti conservativi, essi dipendono strettamente da composizione, consistenza, formati e tipologia delle collezioni; le esigenze pertanto dovranno essere valutate in ogni singolo caso e dovranno anche essere rivedute nel tempo. Da tenere in considerazione altresì le varie destinazioni d'uso dei locali (depositi, sale di consultazione e di studio, locali di fotoriproduzione e di restauro, ambienti di transito e di servizio).

Di seguito si elencano alcune indicazioni di ordine generale, che ovviamente non hanno la pretesa di essere esaustive né di contemplare tutte le situazioni possibili.

- Sono preferibili locali di deposito di non eccessiva estensione e altezza, possibilmente non tortuosi, perché più facilmente gestibili dal punto di vista climatico, del monitoraggio e in quanto possono comportare difficoltà nella movimentazione dei beni. Consigliabile è, per maggiore sicurezza contro il fuoco, la compartimentazione dei locali (con strutture basate sulla norma REI con classe di resistenza come minimo 120).
- Il locale deve essere dotato di impianto di condizionamento e/o trattamento dell'aria (almeno per i materiali particolarmente deteriorabili – es. pellicole in nitrato/acetati di cellulosa, pellicole diazo, alcuni tipi di fotografie a colori e di stampe termiche e *inkjet*, vedi anche Capitolo 12). La progettazione deve assicurare il mantenimento dei parametri adeguati ai vari beni (vedi Capitolo 4). Naturalmente si deve considerare sempre la possibilità di soluzioni alternative nel rispetto della sostenibilità ambientale (vedi § 1.6).
- L'ambiente deve contenere comodamente gli arredi necessari ed essere dotato di piani d'appoggio liberi per consentire scelta e prelievo di materiali e per movimentare in una condizione di maggiore sicurezza.
- Sarebbe preferibile non utilizzare nei locali di deposito controsoffitti per la presenza di vuoti che possono costituire un ricettacolo di *pests* (infestanti – artropodi e roditori, vedi tabella 1.4 e Capitolo 8).
- Il locale destinato alla conservazione deve essere fornito di: dispositivi di sicurezza (mappati anche con immagini georeferenziate) antifurto/antintrusione perimetrali o volumetrici collegati a centrali di controllo, sistemi di rilevazione/allarme incendi (automatici e manuali), di spegnimento (automatico), di evacuazione di fumi/calore. Inoltre deve essere dotato di una rete di idranti ed estintori e di impianti antiallagamento. Gli impianti devono essere conformi alle norme specifiche e sottoposti a collaudi/certificazioni e a periodica manutenzione.
- Il locale deve essere dotato di un impianto elettrico dimensionato in maniera adeguata e di una fonte di energia di sussidio (gruppo elettrogeno).
- Importante risulta anche prevedere un'area attrezzata con casseforti per beni di rilevante valore.
- Si deve prevedere uno spazio sufficiente per: movimentare senza rischi i grandi formati, alloggiare arredi e contenitori adeguati in quantità e dimensioni, dotare i locali di vie di fuga con opportune segnalazioni.
- La disposizione degli arredi deve rispettare le distanze di sicurezza, 80-90 cm ca., per non ostacolare l'eventuale evacuazione degli addetti, che deve essere il più rapida possibile, e consentire il passaggio con scale, carrelli ecc. (se si utilizzano scale a norma, la distanza tra

gli scaffali dovrà essere pari ad almeno 120 cm) (vedi § 11.1) e per evitare la propagazione di eventuali incendi. In merito, il D.P.R. 418 del 1995[25] stabiliva che le sale di consultazione/lettura fossero dotate di vie di esodo con larghezza non inferiore a 90 cm e che i percorsi non superassero i 30 m. A tal proposito si fa presente che è stata introdotta una modifica del D.M. del 3 Agosto 2015[26] (Codice di prevenzione incendi). Con D.M. del 10 luglio 2020[27] è stato infatti inserito il capitolo V.10 "Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati".

- Impianti di adduzione e scarico di liquidi e gas non devono attraversare l'area di deposito, in caso di rotture o guasti possono infatti causare gravi danni; qualora non sia possibile eliminarli, assicurarsi che le tubazioni siano ben isolate e che ne esista una planimetria aggiornata, controllarne lo stato prima di immettere i materiali e verificare periodicamente che non diano luogo a perdite[28].
- Le finestre, se presenti, devono garantire una tenuta perfetta, essere isolate e ben schermate da radiazioni solari in modo da evitare surriscaldamento e scolorimenti da irraggiamento. L'uso di frangisole e/o tende tecniche e di filtri può ridurre o azzerare la penetrazione di luce e l'accumulo dell'energia del sole. Per la sicurezza le finestre, non apribili, devono essere dotate di vetri conformi alla norma UNI EN 1627:2021[29]. Anche la UNI EN 16893:2018 suggeriva tale protezione.
- La circolazione e il necessario ricambio d'aria possono essere assicurati mediante aeratori/aspiratori (l'apertura delle finestre potrebbe provocare cambiamenti nell'assetto termoigrometrico e l'ingresso non controllato di *pests* – vedi Capitoli 6, 7 e 8).
- I serramenti devono resistere a ingressi non autorizzati (classe di resistenza RC4, in conformità della norma UNI EN 1630:2021[30]).
- Il mantenimento di un ottimo livello di igiene ambientale è determinante ai fini della prevenzione. È pertanto fondamentale definire l'organizzazione periodica degli interventi di igiene da effettuarsi con aspiratori dotati di filtri efficienti.
- In quanto ai detergenti risulta opportuno evitare prodotti alcalini e acidi e l'uso eccessivo di acqua.
- Il deposito deve essere mantenuto sgombro da materiali accatastati, sporchi, polverosi, fonti di rischio per i beni conservati e per il personale.
- Il trasferimento di collezioni/raccolte in un ambiente ristrutturato o di nuova costruzione dovrebbe avvenire solo dopo un sufficiente lasso di tempo affinché i locali siano asciutti, pitture, vernici e adesivi ben essiccati ed eventuali vapori e gas siano stati dissipati.
- Particolare attenzione va dedicata alla scelta dei materiali di rivestimento di pareti, pavimenti e soffitti, alcuni sono sconsigliati per eccessiva porosità, possibile rilascio di sostanze deteriogene, accumulo di polveri ecc. Le finiture interne non devono ostacolare la funzione della capacità termica e igroscopica dell'edificio di stabilizzare le condizioni e non devono rilasciare polvere (UNI EN 16893:2018). Ovviamente i rischi aumentano con le non idonee condizioni termoigrometriche.

Nella tabella 3.2[31] sono raccolte le principali caratteristiche di compatibilità e incompatibilità di alcuni materiali utilizzati come rivestimenti superficiali.

Tabella 3.2 – Materiali di finitura – schema di compatibilità.

CLASSE DI MATERIALI	COMPATIBILE	INCOMPATIBILE
Schiume	**Polietilene (senza plastificanti)** **Polipropilene (senza plastificanti)**	**PVC** – rilascio di acido cloridrico. **Poliuretano** – rilascio di isocianati.
Coperture per pavimenti	**Ceramica, grès** **Resine epossidiche**	**Cemento** – formazione di sostanze alcaline. **Tappeti, parquet, moquette** – accumulo di polveri, deterioramento, attacchi biologici. **Piastrelle di PVC** – rilascio di acido cloridrico. **Pietre porose e friabili** – rilascio di polveri. **Gomme vulcanizzate** – rilascio di prodotti solfurati.
Pitture e rivestimenti per pareti	**Pitture acriliche, viniliche** **Emulsioni acriliche**	**Pitture in solventi organici** – sviluppo di vapori organici. **Resine alchidiche** – rilascio di urea, rilascio di formaldeide. **Legno compensato, truciolato e laminato** – rilascio di acidità da lignina (acido acetico, acido formico), rilascio di formaldeide.
Vernici	**Acriliche (smalti ad acqua)**	**Poliuretano** – rilascio di isocianati. **Nitrato di cellulosa** – rilascio di acido nitrico.

3.4 Considerazioni sulle tecnologie per la regolazione del microclima

Ultime, ma non meno importanti considerazioni sono da dedicare alle tecnologie per la regolazione del microclima, condizionato da:

- clima *outdoor* (con le sue variazioni di breve, medio e lungo termine);
- caratteristiche costruttive dell'ambiente (pareti/involucro edilizio, materiali impiegati);
- distribuzione degli spazi interni;
- uso degli ambienti e attività degli occupanti;
- scambi termici, di aria e di acqua con l'esterno e scambi termici tra ambiente interno ed elementi ivi presenti.

Il controllo delle condizioni termoigrometriche di ambienti conservativi e/o espositivi, con sistemi attivi di termoregolazione o climatizzazione, è un problema molto complesso che richiede specifiche conoscenze[32].

Prima di installare un costoso impianto di climatizzazione che comporti investimenti elevati e alti costi di esercizio, sarebbe opportuno orientarsi verso interventi graduali e di costo contenuto, preceduti, seguiti e verificati da un costante e continuo monitoraggio termoigrometrico. Il monitoraggio rappresenta dunque un momento di rinnovata conoscenza tecnica del locale di conservazione e dell'ambiente che lo circonda.

Apportando migliorie all'isolamento termico dell'ambiente e alla tenuta degli infissi si riducono gli sbalzi termici e, di conseguenza, le fluttuazioni di umidità relativa. Poiché le fotografie richiedono ambienti con umidità relativa medio-bassa, il tasso naturale di tale parametro potrebbe risultare inadeguato soprattutto in alcune stagioni e in alcune zone climatiche; un valido ausilio per ridurlo può venire dall'uso di deumidificatori. Il numero, la potenza e la capacità di tali apparecchi ausiliari dovranno essere commisurati alle dimensioni del/dei locale/i e ai fattori che influenzano il tasso di umidità relativa: scambi d'aria con l'esterno, livello d'isolamento, ventilazione, frequenza e durata di apertura delle porte, presenza e stazionamento di persone ecc. Molti deumidificatori, soprattutto quelli di uso domestico, raccolgono l'acqua sottratta all'ambiente in serbatoi interni e il loro funzionamento si blocca quando il serbatoio è colmo. Per superare questo inconveniente l'acqua di raccolta dovrebbe essere convogliata in continuo in una conduttura di scarico. I deumidificatori rappresentano un ottimo sussidio anche in presenza di condizionatori che, nell'abbassare la temperatura, rimuovono in parte, ma a volte non sufficientemente, umidità dall'aria.

Nella figura 3.3 a titolo esemplificativo, è rappresentato un tracciato termoigrometrico rilevato nell'ambiente di conservazione di un archivio fotografico climatizzato ove sono posizionati un condizionatore d'aria e un deumidificatore; il funzionamento dei dispositivi mantiene le temperature stabili nel tempo ma introduce marcate fluttuazioni dei valori di umidità relativa dell'aria.

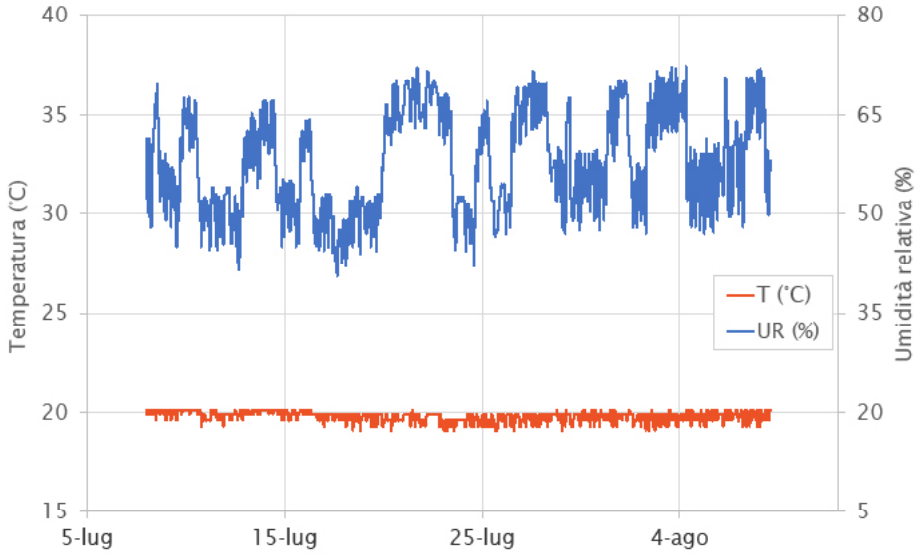


Fig. 3.3

Andamenti termoigrometrici registrati in un locale climatizzato con condizionatore d'aria e deumidificatore con serbatoio interno. Si può vedere che le temperature monitorate (in basso) sono stabili al contrario dei valori di umidità relativa dell'aria (in alto)

Per aumentare l'umidità relativa in ambienti eccessivamente secchi (zone aride, periodi freddi in zone temperate), ci si può avvalere di umidificatori di tipo domestico o professionale. In genere i primi immettono direttamente vapore o acqua nebulizzata nell'ambiente e possono dare luogo, nell'ambito del loro raggio d'azione, ad umidità localizzate molto alte anche prossime alla saturazione. Tra i secondi sono preferibili quelli che premiscelano il vapore prodotto direttamente nell'aria convogliata nel sistema di termoregolazione e che hanno un'unità di controllo dell'umidità. È sempre essenziale misurare in continuo l'andamento di tale parametro per evitare rischi di sovra-umidificazione. Si tenga comunque sempre presente che per i beni, compresi quelli fotografici,

gli alti tassi di umidità relativa sono molto più pericolosi di quelli bassi[33].

Data la grande varietà di apparecchiature e sistemi per la regolazione del microclima con caratteristiche tecniche, potenze e principi di funzionamento molto diversi, è bene affidarsi — nella scelta del sistema più idoneo —, a professionisti qualificati che sappiano consigliare i macchinari più adatti sulla base delle specifiche esigenze e dei rilevamenti microclimatici effettuati nelle singole aree di deposito e all'esterno. Le apparecchiature e gli impianti a servizio dei depositi devono poter garantire un funzionamento continuo nelle 24 ore ed essere indipendenti dai sistemi di regolazione centralizzati, sia perché l'orario di accensione di questi ultimi è in genere modulato su quello di lavoro dei dipendenti o di apertura al pubblico, sia perché tali locali richiedono parametri microclimatici piuttosto diversi da quelli regolati sul benessere del personale e degli utenti. Considerazioni analoghe riguardano la necessità di escludere dagli ambienti conservativi i radiatori collegati agli impianti di riscaldamento centralizzati in quanto il microclima subisce ciclicamente brusche e intense fluttuazioni, inaccettabili ai fini della conservazione del patrimonio fotografico, passando dal caldo/secco diurno al freddo/umido che segue lo spegnimento.

Quando non sia possibile o conveniente realizzare sofisticate unità di controllo climatico, la conservazione in microambienti o in locali indipendenti e ben isolati serviti da apparecchiature autonome di trattamento dell'aria può essere dunque una alternativa accettabile, funzionale e dai costi contenuti.

Per ottenere un deposito caratterizzato da elevata stabilità dei parametri ambientali, una centrale di climatizzazione a controllo integrato rappresenta la soluzione più idonea: si tratta di un insieme di apparati complessi che lavorano in perfetta sincronia per realizzare, tramite dispositivi di rilevamento e regolazione centralizzati, cicli di trattamento dell'aria (riscaldamento, raffreddamento, umidificazione, deumidificazione, circolazione, filtrazione). Di riferimento per la progettazione di impianti di climatizzazione vi è la normativa UNI 10829:1999 (vedi Capitolo 4), che riporta i valori di riferimento consigliati, a cui si aggiunge l'Atto di Indirizzo del 2001 e la UNI EN 16798-1:2019[34].

Negli ambienti climatizzati ben funzionanti si possono raggiungere temperature anche molto al di sotto di quelle ambientali e si ottiene inoltre un ottimo controllo della qualità dell'aria se in ingresso si collocano filtri assoluti di tipo HEPA – *High Efficiency Particulate Air filter* o di tipo ULPA – *Low Penetration Air* (la norma di riferimento è la UNI EN 1822-1:2019)[35] o filtri per ventilazione generale basati sul sistema di classificazione (efficienza dei filtri in base al particolato – PM) specificato dalla UNI EN ISO 16890-1:2017[36] (vedi § 7.5).

Gli impianti di climatizzazione comportano costi di installazione e di esercizio piuttosto elevati. I primi sono determinati dagli onorari per la progettazione e dalla potenza e complessità necessarie in relazione alle dimensioni degli ambienti da climatizzare e ai parametri microclimatici da ottenere; i secondi, indispensabili per mantenere nel tempo in perfetta efficienza le macchine, consistono in periodiche e regolari ispezioni di manutenzione ordinaria e interventi straordinari per la sostituzione di parti usurate, guasti accidentali ecc. Tra i costi di esercizio anche i consumi elettrici non sono da sottovalutare trattandosi di macchine tenute permanentemente in funzione (vedi § 4.8). Gli impianti devono essere accuratamente progettati da professionisti specializzati: sistemi inefficienti e/o soggetti a continui guasti, se non addirittura difettosi, possono arrecare molti più danni di apparati un po' meno perfetti ma più affidabili, oppure di condizioni naturali ambientali[37]. Un buon isolamento termico, una perfetta tenuta, un sistema di riciclo

dell'aria in uscita, limitando volumi di fluidi da trattare nonché una ristretta frequenza di accesso, rendono più efficace la climatizzazione e riducono l'usura delle macchine e i consumi.

Infine, facendo riferimento alla norma UNI EN 16893, prima citata, si precisa che un edificio destinato ad ospitare collezioni dovrebbe utilizzare sistemi di controllo computerizzato: il cosiddetto BMS – *Building Manangement System*. Un sistema di questo tipo, generalmente di grande complessità, multilivello, multiobiettivo, integrato e correlato, è in grado di controllare e monitorare, in più punti, gli impianti e le apparecchiature meccaniche ed elettriche presenti (non solo quelle del trattamento dell'aria e del raffreddamento ma anche quelle di illuminazione, di alimentazione, antincendio e di sicurezza).

Il sistema di gestione dell'edificio, effettuato in stretta collaborazione con gli esperti nella preservazione delle collezioni, è in grado di contribuire al miglioramento delle prestazioni della struttura. I vantaggi principali di un approccio del genere sono: il monitoraggio e il controllo delle condizioni interne, il monitoraggio e il controllo in remoto delle singole strutture dell'edificio (es. UTA), il controllo individuale dei locali con l'apposito dispositivo, la maggiore affidabilità, il risparmio di tempo e di costi, l'individuazione tempestiva di problemi. Molto spesso gli edifici storici presentano una bassa efficienza energetica con elevate perdite di energia e sistemi di generazione di energia sottoutilizzati o viceversa troppo usati. Il monitoraggio e il controllo di tutti questi parametri possono portare a risparmi di energia e di costi come auspicato nei programmi impostati sui principi della sostenibilità ambientale[38] (vedi § 1.6).

Note alle immagini

Fig. 3.1 immagine tratta dal testo di M. Pinna, *I valori termici nella classificazione del clima italiano*, cap IV, in *La Distribuzione della Temperatura dell'Aria in Italia nel Trentennio 1926-1955*, Pubblicazione N. 21 del Servizio II Edizione, Fascicolo IV, Monografia, Ministero dei Lavori Pubblici, Consiglio superiore, Servizio Idrografico, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato, 1969.

Fig. 3.2 disegno elaborato da Roberto Bianchi.

Fig. 3.3 elaborazione grafica di Elena Verticchio.

Note bibliografiche

[1] Treccani.it, L'enciclopedia italiana, *Ambiente*, 2019, da: www.treccani.it/vocabolario/ambiente (consultato il 22/06/2022).

[2] UNI 10829:1999, *Beni d'interesse storico artistico – Condizioni ambientali di conservazione – Misurazione ed analisi*, Milano, Ente Nazionale di Unificazione, 1999.

[3] M*i*BAC, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, D.Lgs n. 112/1998, art. 150, comma 6, G.U. n. 244 (supplemento), 19 ottobre 2001, fascicolo 238, Ambito IV, Roma.

[4] S. Lorusso, A. Natali, *L'ambiente di conservazione dei documenti grafici*, in *Libri e Documenti. Le Scienze per la Conservazione e il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Biblioteca Statale Isontina, Gorizia, Edizioni della Laguna, 2007, pp. 497–518.

[5] M.B. Bertini, *I Custodi della Memoria. L'Edilizia Archivistica Italiana Statale del XX Secolo*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2014.

[6] Gruppo di lavoro "Aerobiologia e Beni Culturali", coordinatore G. Pasquariello, *Rischio di biodeterioramento in biblioteche, archivi e musei: primi risultati di un'indagine nazionale*, in *Bollettino ICR*, *Nuova serie*, 14, 2007, pp. 6–11.

[7] G. Caneva, A. Pacini, *Problemi di biodeterioramento in relazione ai contesti geografici e climatici*, in

La Biologia Vegetale per i Beni Culturali, vol. I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 219–237.

[8] M. Pinna, *I valori termici nella classificazione del clima italiano*, cap IV, in *La Distribuzione della Temperatura dell'Aria in Italia nel Trentennio 1926-1955*, Pubblicazione N. 21 del Servizio II Edizione, Fascicolo IV, Monografia, Ministero dei Lavori Pubblici, Consiglio superiore, Servizio Idrografico, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato, 1969; M. Pinna, *L'atmosfera e il Clima*, Torino, Utet, 1978.

[9] ICOM, *Decalogo di ICOM Italia sugli Interventi in Caso di Emergenze a Seguito di Calamità Naturali,* 2016, pp. 1–3, da: http://www.icom-italia.org/wp-content/uploads/2018/08/ICOMItalia.Raccomandazione.DecalogoEmergenze.2016.pdf (consultato il 23/06/2022).

[10] G. Bongiovanni, P. Clemente, M. Forni, S. Hailemikael, G. Martini, A. Paciello, D. Rinaldis, V. Verrubbi, A. Zini, *Valutazione della Pericolosità Sismica: Considerazioni*, Energia ambiente e innovazione, ENEA, n. 3–4, 2013, DOI: 10.12910/EAI2013-01.

[11] M*i*BAC, Soprintendenza archivistica per il Piemonte e la Valle D'Aosta, *Sedi d'Archivio: Caratteristiche e Requisiti*, Torino, 2011, pp. 1–5, da: http://www.sato-archivi.it/Sito/images/stories/modelli_scaricabili/requisiti_strutturali_archivio.pdf (consultato il 23/06/2022).

[12] T.R. Oke, *The energetic basis of the urban heat island*, in *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 455, 1982, pp. 1–24, DOI: org/10.1002/qj.49710845502.

[13] A.M. Rizwan, D.Y.C. Leung, C. Liu, *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*, in *Journal of Environmental Sciences*, 20, 1, 2008, pp. 120–128, DOI: 10.1016/s1001-0742(08)60019-4.

[14] ENEA, *L'isola di Calore Urbano è Ininfluente sul Riscaldamento Globale*, 2011, da: https://www.enea.it/it/seguici/news/l2019isola-di-calore-urbano-e-ininfluente-sul-riscaldamento-climatico-globale (consultato il 23/06/2022).

[15] M. Montanari, *La prevenzione*, in *Libri e Documenti. Le Scienze per la Conservazione e il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Biblioteca Statale Isontina, Gorizia, Edizioni della Laguna, 2007, pp. 301–304.

[16] ISO 11799:2015, *Information and documentation – Document storage requirements for archive and library materials*, Ginevra, International Organization for Standardization, 2015; UNI EN 16893:2018, *Conservazione del patrimonio culturale – Specifiche per la scelta del luogo, la costruzione e le modifiche di edifici o sale finalizzate al deposito o all'esposizione di collezioni del patrimonio culturale*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2018.

[17] M*i*BACT, *Circolare n. 15, 30/04/2015*, *Disposizioni in materia di tutela del patrimonio architettonico e mitigazione del rischio sismico*, da: https://www.indicenormativa.it/sites/default/files/Circ.15_2015.pdf (consultato il 18/06/2022).

[18] M*i*BAC, *Circolare n. 24, 29/05/2012, Decreto del Ministro per i Beni e e le Attività culturali per il monitoraggio e il coordinamento delle fasi emergenziali*, Segretariato Generale, da: https://www.beniculturali.it/comunicato/circolare-n-24-2012-del-segretariato-generale-decreto-del-ministero-dei-beni-e-le-attivita-culturali-per-il-monitoraggio-e-il-coordinamento-delle-fasi-emergenziali (consultato il 18/06/2022).

[19] M*i*BACT, *Direttiva 23 aprile 2015, Aggiornamento della direttiva 12 dicembre 2013, relativa alle «Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali»,* (15A05594) (GU Serie Generale n. 169 del 23/7/2015), da: https://storico.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1437986288170_DIRETTIVA_23Aprile2015.pdf (consultato il 18/06/2022).

[20] M*i*BACT, *Allegato 3, Schema della struttura per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali*, da: https://storico.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/MenuPrincipale/Normativa/Direttive/index.html (consultato il 18/06/2022).

[21] MiC, Direzione Generale Sicurezza del Patrimonio Culturale – DGSPC, *Decreto n. 34, 09/03/2022, Circolare n. 14, 17/03/2022 Segretario Generale,*

Linee guida per l'individuazione, l'adeguamento, la progettazione e l'allestimento di depositi per il ricovero temporaneo di beni culturali mobili con annessi laboratori di restauro, a cura del GdL: M. Ciatti, V.G. Pellegrino, M. Agostiniano, C. Bartolini, G. Cassio, G.L. Delogu, S. Filippin, D. Matè, P. Moriconi, M. Mozzo, C. Rubino, O. Sartiani, P. Scarpitti, da: MiC-https://dgspatrimonioculturale.beniculturali.it/wp-content/uploads/2022/03/Allegato-%E2%80%93-Linee-guida-individuazione-adeguamento-progettazione-e-allestimento-depositi-per-ricovero-temporaneo-di-beni-culturali-mobili-con-laboratori-di-restauro.pdf (consultato il 26/06/2022).

[22] A.M. Marcone, M. Paris, G. Buzzanca, G. Lucarelli, G. Gerardi, A. Giovagnoli, A. Ivone, M.P. Nugari, *Il progetto ICR di manutenzione e controllo della Galleria Doria Pamphilj: schedatura conservativa e monitoraggio ambientale*, in *Bollettino ICR*, *Nuova Serie*, 2, 2001, pp. 44–67; M*i*BAC 2011, *op. cit.*

[23] V. D'Agostino, F.R. D'Ambrosio Alfano, G. Riccio, *Conservazione dei beni culturali: ruolo dell'umidità relativa*, in *RCI. Riscaldamento Climatizzazione Idronica*, vol. XXXIII, 10, 2006, pp. 80–90.

[24] M*i*BAC 2011, *op. cit.*

[25] D.P.R. n. 418, 30/6/1995, *Regolamento concernente norme di sicurezza antincendio per gli edifici di interesse storico-artistico destinati a biblioteche ed archivi.*

[26] D.M. 03/08/2015, *Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006*, *n. 139*, Ministero dell'Interno.

[27] D.M. 10/07/2020, *Testo coordinato dell'allegato I del DM 3 agosto 2015 – Codice di prevenzione incendi, nuovo capitolo V.10 "Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati",* (in vigore dal 21/08/2020), Ministero dell'Interno.

[28] B. Lavédrine, *A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections*, Los Angeles, Getty Conservation Institute, 2003.

[29] UNI EN 1627:2021, *Porte pedonali, finestre, facciate continue, inferriate e chiusure oscillanti – Resistenza all'effrazione – Requisiti e classificazione,* Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2021.

[30] UNI EN 1630:2021, *Porte pedonali, finestre, facciate continue, inferiate e chiusure oscuranti - Resistenza all'effrazione - Metodo di prova per la determinazione della resistenza all'azione manuale di effrazione*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2021.

[31] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*; A. Tímar-Balázsy, D. Eastop, *Chemical Principles of Textile Conservation*, Oxford, Butterworths–Heinemann, 1998.

[32] A. Bernardi, *Conservare Opere d'Arte. Il Microclima negli Ambienti Museali*, Collana Le Pleiadi, Padova, Il prato, 2004.

[33] H. Wilhelm, *The storage environment for photographs: relative humidity, temperature, air pollution, dust, and the prevention of fungus*, in *The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides, and Motion Pictures*, chapter 16, Iowa, Preservation Publishing Co., 1993, pp. 539–574.

[34] UNI EN 16798-1:2019, *Prestazione energetica degli edifici – Ventilazione per gli edifici Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica – Modulo M1–6*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2019.

[35] UNI EN 1822-1:2019, *Filtri per l'aria ad alta efficienza (EPA, HEPA e ULPA) – Parte 1: Classificazione, prove di prestazione, marcatura*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2019.

[36] UNI EN ISO 16890-1:2017, *Filtri d'aria per ventilazione generale – Parte 1: Specifiche tecniche, requisiti e sistema di classificazione dell'efficienza basato sul particolato (ePM)*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2017.

[37] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[38] J.L. Hernández, D. Garcìa, H. Garrecht, S. Reeb, G. Paci, *Building management system*, in *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings. A Handbook*, A. Troi, Z. Bastian (eds.), pp. 198–201, Basel, Birkhäuser, 2015, DOI: org/10.1515/9783038216506.

4 Analisi del microclima

Donatella Matè, Luciana Rossi, Elena Verticchio

I Beni Culturali subiscono modifiche sia per effetto degli agenti fisici, chimici e biologici associati all'ambiente nel quale sono conservati, sia a causa dei meccanismi chimico-fisici di trasformazione cui sono soggetti per natura.

Le dinamiche del processo di deterioramento, infatti, dipendono in parte da cause esterne, legate alle condizioni di conservazione, e in parte da cause interne, legate alla instabilità intrinseca dei materiali costitutivi e ai processi di lavorazione. Il deterioramento è un processo di natura cumulativa, in cui le diverse cause singole producono effetti sinergici[1]. Trattandosi di processi spontanei e irreversibili, il naturale invecchiamento e il deterioramento dei materiali segnano in maniera indelebile la loro storia conservativa, condizionandone il futuro. Le stesse forzanti possono produrre conseguenze diverse in funzione delle caratteristiche dell'oggetto, dei materiali che lo compongono e della sua storia pregressa. La manutenzione dei beni e la protezione dall'azione dei numerosi agenti di deterioramento, tuttavia, possono limitarne la velocità e gli effetti. La prevenzione, tradotta in una serie di misure atte a prolungare la vita delle opere, assume dunque un ruolo imprescindibile ai fini della conservazione[2]. La conservazione preventiva è quindi l'insieme delle misure messe in campo per contrastare il deterioramento dei materiali costituenti le opere[3]. Con l'introduzione di questa nuova visione di conservazione continua, cambia anche il concetto stesso di restauro: non più un drastico intervento di riparazione, ma un intervento propedeutico alla futura manutenzione ordinaria contro il rischio di un nuovo deterioramento[4].

L'analisi del microclima, consentendo di valutare le condizioni ambientali al contorno, è tra gli strumenti più efficaci per ottenere una migliore conservazione dei beni e ridurre l'impatto dei principali fattori di rischio legati all'ambiente. Il professor Dario Camuffo, fisico del CNR di Padova specializzato in fisica dell'atmosfera e conservazione dei beni culturali e pioniere della ricerca internazionale in questo campo, definisce così il microclima[5]:

> «Il microclima è la sintesi delle condizioni fisiche ambientali (distribuzioni nel tempo e nello spazio, fluttuazioni e tendenze, valori medi ed estremi, gradienti spaziali e frequenze delle oscillazioni) dovute all'azione concomitante delle variabili atmosferiche e agli scambi con altri corpi, su un periodo di tempo che sia rappresentativo di tutte le condizioni determinate dalle forzanti di origine sia naturale che artificiale.»

Le principali grandezze fisiche che descrivono il microclima sono la temperatura dell'aria e delle superfici dei corpi, l'umidità relativa, la velocità e la direzione dell'aria che lambisce gli oggetti. Lo studio della loro distribuzione nel tempo e nello spazio consente di identificare le dinamiche più pericolose a breve e a lungo termine e le aree in cui avvengono gli scambi più rilevanti di calore e vapore. Come già illustrato, sul microclima di un ambiente confinato, come una sala museale o un deposito, incidono le caratteristiche costruttive dell'edificio, la sua ubicazione e l'orientamento; ultimo elemento, non meno importante, è la presenza umana con un ruolo determinante sulle condizioni che si stabiliscono nell'ambiente. Altri importanti fattori da tenere in considerazione per la conservazione sono le radiazioni luminose (vedi Ca-

pitolo 5), gli inquinanti (vedi Capitolo 6 e 7) e la presenza di biodeteriogeni (vedi Capitoli 8 e 9), la cui azione, spesso sinergica, è influenzata in maniera determinante dalle condizioni ambientali. Per questo motivo è fondamentale che lo studio finalizzato alla conservazione coinvolga competenze interdisciplinari, permettendo di risalire alle reciproche interazioni tra gli agenti coinvolti.

4.1 Variabili termoigrometriche

Dal punto di vista fisico, le grandezze che maggiormente caratterizzano un ambiente confinato e le interazioni che esso ha con gli oggetti conservati, sono la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, poiché direttamente o indirettamente responsabili di diversi meccanismi di deterioramento. Le variazioni e le fluttuazioni di temperatura e umidità relativa dovrebbero essere considerate sia da un punto di vista statico (livelli medi e intervalli di variazione), sia dinamico, tenendo conto della velocità di variazione, della durata dei cicli e della frequenza della loro ripetizione[6]. Per provvedere a ridimensionarne gli effetti, lo studio del microclima non si limita a raccogliere i valori delle variabili ambientali ma tenta di individuare le complesse interazioni reciproche tra gli oggetti e l'ambiente conservativo/espositivo[7].

Il monitoraggio dei parametri termoigrometrici all'interno di depositi, sale di consultazione, sale espositive, è uno strumento essenziale nell'attività di conservazione preventiva[8]. Campagne di misura ed ispezioni periodiche sono necessarie sia in presenza delle collezioni sia nella fase di studio degli ambienti destinati ad ospitare i beni. Lo scopo è quello di verificare l'effettivo mantenimento di condizioni idonee alla conservazione e di evidenziare nel sistema manufatto-ambiente quelle eventualmente favorevoli al deterioramento (eccesso di umidità nei materiali e/o nelle murature, corrosioni nelle strutture metalliche, deformazioni a carico di alloggiamenti, contenitori, cornici, penetrazione di sostanze indesiderate ecc.). Misurazioni termoigrometriche in teche e cornici espositive consentono di rilevare i valori interni di temperatura e di umidità relativa. Il monitoraggio può essere integrato, dove necessario, da misure di contenuto d'acqua nei substrati organici (emulsioni, supporti cartacei primari e secondari, involucri ecc.) al fine di constatare che non si creino, all'interno dei materiali stessi, condizioni (generali o localizzate) per lo sviluppo di biodeteriogeni o per l'instaurarsi di processi di degradazione fisica o chimica.

Soltanto un'attenta analisi del sistema manufatto-ambiente consente di comprendere se le condizioni ambientali siano favorevoli o meno alla conservazione. Il "clima storico" è definito come l'insieme delle condizioni alle quali i manufatti si sono acclimatati nel corso della loro storia conservativa. Quando si prevede la movimentazione dei beni in occasione di restauri o mostre, le condizioni "storiche" dovrebbero essere mantenute sia durante le fasi di trasporto che durante l'immagazzinamento e/o l'esposizione. L'importanza del "clima storico" è stata riconosciuta in sede normativa dallo standard europeo UNI EN 15757:2010[9], recepito dall'Ente Italiano di Normazione UNI. Si tratterà più estesamente dell'applicazione di questa normativa al § 4.5.

Temperatura La temperatura è la grandezza fisica che definisce la condizione termica di un corpo, cioè la sua capacità di scambiare calore con un altro corpo o con l'ambiente. Più precisamente, la temperatura è legata ai

moti di agitazione delle particelle (atomi, molecole) che compongono la materia. Il calore si trasferisce da un corpo più caldo ad uno più freddo (e mai il contrario) in tre diverse modalità, che possono verificarsi singolarmente oppure in combinazione tra loro: conduzione, convezione e irraggiamento[10].

La conduzione avviene tra due corpi a contatto e il calore si propaga dal più caldo al più freddo fino al raggiungimento dell'equilibrio termico fra i due. La velocità del trasferimento dipende dalla conducibilità termica, che varia da materiale a materiale: i metalli sono buoni conduttori di calore, mentre, come è noto, i cosiddetti isolanti hanno una bassa conducibilità termica, proprietà sfruttata in edilizia per ridurre gli sbalzi di temperatura in ambiente interno.

Nella convezione, il trasferimento di energia termica si verifica tra una superficie solida più calda e un fluido (liquido o gas). In questo caso si instaura una modalità combinata in cui le particelle fluide, scaldandosi per conduzione a contatto con il solido, si muovono più velocemente e si allontanano dal corpo caldo con moto ascensionale, innescando moti convettivi. Il fenomeno si ripete fino al raggiungimento dell'equilibrio termico che, dunque, avviene per trasferimento di materia. Termosifoni (convezione libera), termoconvettori e phon (convezione forzata) trasferiscono calore attraverso questa modalità.

L'irraggiamento, infine, avviene per emissione di radiazioni da un corpo caldo senza che sia necessaria la presenza di materia. Nel vuoto, ad esempio, la trasmissione di energia radiante si verifica in assenza di contatto e senza trasferimento di materia. Il sole e le sorgenti luminose artificiali propagano calore con questa modalità.

Gli scambi di calore determinano principalmente:

- dilatazione e restringimento dei corpi;
- cicli di evaporazione e condensazione dell'acqua nell'aria;
- variazione del contenuto d'acqua nei materiali;
- reazioni chimiche da interazione materiale-ambiente.

Una buona analisi dei fattori di rischio ambientale mira a conoscere l'origine e la natura dei trasferimenti di energia termica tramite la raccolta di dati con idonei strumenti di misura (vedi § 4.4), consentendo di individuare, correggere o quantomeno attenuare i possibili effetti negativi sulle opere[11].

Le reazioni chimiche, comprese quelle responsabili dell'invecchiamento, comportano trasformazioni nel tempo di alcune proprietà dei materiali che ne causano un parziale o un completo deterioramento.

La relazione tra la temperatura e la velocità con cui procedono queste reazioni è descritta nella teoria di Arrhenius, basata sull'accelerazione termica delle reazioni chimiche e sul concetto di energia di attivazione di un processo:

$$\text{equazione di Arrhenius} \qquad k = A \times e^{-Ea/R \times T} \qquad (4.1)$$

k = costante cinetica
A = fattore pre-esponenziale, costante per variazioni di temperatura non troppo elevate
e = base dei logaritmi naturali
Ea = energia di attivazione (energia di soglia necessaria al verificarsi di singole reazioni) (kJ/mol)
R = costante dei gas (8,31 $J/K^{1/2}$ ±mol)
T = temperatura assoluta in gradi Kelvin

Questa equazione spiega, in buona sostanza, la ragione per cui le simulazioni di invecchiamento accelerato sono spesso effettuate sottoponendo campioni di laboratorio a temperature più alte di quella ambiente al fine di valutare la stabilità dei materiali costituenti e di estendere la valutazione degli effetti a lungo termine di determinati trattamenti. Sulla base dell'equazione di Arrhenius, è stato calcolato che la velocità della maggior parte delle reazioni chimiche venga circa raddoppiata per ogni 10ºC di aumento di temperatura[12]; al diminuire della temperatura, al contrario, l'aspettativa di vita di materiali ne viene grandemente incrementata. I maggiori vantaggi delle basse temperature si ottengono sui materiali più instabili come le pellicole a colori e le pellicole in acetato di cellulosa, in cui la decomposizione richiede minori energie di attivazione; fotografie più stabili come le stampe in bianco e nero non richiedono, invece, temperature di archiviazione particolarmente basse[13].

Da lungo tempo si dibatte sui limiti di tali sperimentazioni, in considerazione del fatto che alte temperature possano dar luogo a fenomeni che non si verificano a temperature ordinarie o che siano trascurabili nei processi di invecchiamento naturale dei materiali; la legge di Arrhenius, tuttavia, rimane ad oggi un importante riferimento nello studio dei processi di deterioramento chimico (vedi § 4.3).

Calcoli dei fattori relativi al miglioramento di stabilità, al diminuire della temperatura, hanno evidenziato che un calo di soli 10°C moltiplica l'aspettativa di vita di materiali fotografici di un fattore che va da 3 a oltre 5 a seconda del procedimento[14].

Tra le numerose ricerche finalizzate a definire gli ambiti di temperatura ed umidità relativa ottimali alle quali conservare le fotografie, si riporta (fig. 4.1) il diagramma adottato dalla Commissione Museums & Galleries (UK) nel 1996[15] ed elaborato da McCormick-Goodhart (1996)[16] che evidenzia, all'interno del quadrante (A, B, C, D), i range di T e UR sicuri per materiali fotografici contenenti gelatina come legante e/o come strato supplementare su qualunque supporto: carta, vetro, acetato, poliestere ecc. (quindi la gran parte del materiale fotografico tradizionale). Tutte le combinazioni di temperatura ed umidità relativa comprese all'interno del quadrante garantiscono livelli di stabilità chimica e fisica, il che consente di valutare, bilanciare e scegliere le condizioni più convenienti per il deposito, l'esposizione e l'utilizzo del materiale fotografico. L'esposizione a temperature ed umidità relative comprese nelle zone tratteggiate all'esterno del quadrante (E, A, D, G e B, F, C) è da evitarsi per la possibilità di danni irreversibili di natura fisica e/o biologica; la linea curva tratteggiata rappresenta invece il limite oltre il quale la gelatina supera la temperatura di transizione vetrosa (Tg – stato termico al quale i polimeri passano da una consistenza molle e gommosa ad una rigida e fragile) e subisce una rapida ed irreversibile degradazione. Le linee trasversali infine indicano

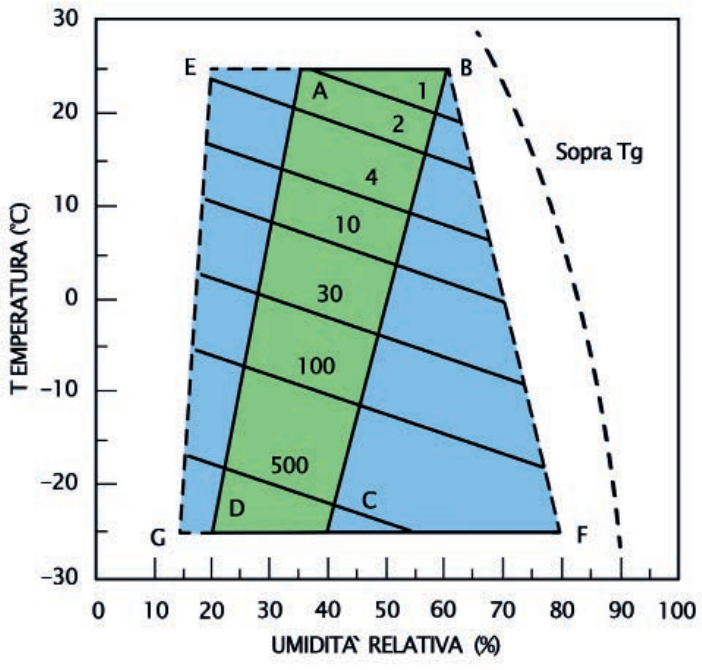


Fig. 4.1

Diagramma in cui si evidenziano all'interno del quadrante gli ambiti di T e UR idonei per molte tipologie di materiali fotografici

l'incremento di stabilità chimica dei materiali rispetto alle coordinate T/UR ed evidenziano la maggiore influenza esercitata su di essa dalla temperatura piuttosto che dall'umidità relativa (ad esempio ad una UR del 40% una fotografia conservata a 5°C sarà circa 10 volte più stabile che a 20°C).

Il riscaldamento, inoltre, agisce sinergicamente con gli altri fattori di degradazione (umidità, presenza di sostanze inquinanti, difetti intrinseci dei substrati), favorendone l'azione: in questi casi, il deterioramento risultante è quasi sempre superiore alla somma di quelli prodotti dai singoli fattori isolatamente[17]. Accanto al deterioramento di tipo chimico, la temperatura influisce sull'attività metabolica dei biodeteriogeni (ad esempio microrganismi e insetti) e ne condiziona la possibilità stessa che si sviluppino e prolifichino. Questi aspetti saranno trattati in maggiore dettaglio nei capitoli dedicati al deterioramento biologico (vedi Capitoli 7, 8 e 9).

La temperatura di un ambiente di deposito o di esposizione, infine, viene considerata un fattore di rischio anche in quanto influisce indirettamente sull'umidità relativa dell'aria: incrementi di temperatura provocano diminuzione dell'umidità relativa, con conseguente perdita/rilascio di vapore dei materiali igroscopici che con essa si pongono in equilibrio (vedi § 4.2). Gli effetti dei cicli termici sull'umidità relativa possono essere attenuati, in relazione ai volumi di aria da trattare, attraverso l'impiego di impianti di controllo climatico oppure inserendo nei contenitori, che proteggono le opere, come proposto già da Bigourdan *et al.* (1997)[18], una quantità sufficiente di materiale igroscopico che agisca da tampone sulle variazioni: involucri e scatole di cartone di archivio, ad esempio, esplicano questa funzione nei confronti dei materiali al loro interno (vedi Capitolo 11).

Umidità Per umidità si intende comunemente il contenuto di acqua in forma liquida e/o vapore presente nell'aria e all'interno dei materiali. A causa delle profonde interazioni manufatto-ambiente che implicano, le variazioni di umidità sono di grande interesse in ambito conservativo[19]. Le principali grandezze che definiscono il grado di umidità di un volume di aria sono[20]:

- umidità specifica (U_s) – g di vapore acqueo presenti in ogni kg di aria, misurata in g/kg;
- umidità assoluta (U_a) – quantità di vapore nell'unità di volume, misurata in g/m^3;
- umidità alla saturazione (U_{sat}) – massima quantità di vapore che l'aria può contenere nell'unità di volume a una certa temperatura, misurata in g/m^3 prima che si verifichi la condensazione e cioè il passaggio dallo stato vapore allo stato liquido;
- umidità relativa (UR) – rapporto, espresso in percentuale, tra la quantità di vapore acqueo presente in un certo volume d'aria a quella temperatura e la quantità di vapore necessario per saturare il volume considerato alla stessa temperatura: $UR = (U/U_{sat} \times 100\%)$. Si tratta di una grandezza adimensionale, in quanto calcolata dal rapporto tra due grandezze aventi uguale unità di misura.

Il valore di U_{sat} è funzione della temperatura e un ambiente più caldo è in grado di contenere più vapore rispetto a quanto possa ospitarne uno più freddo.

In tabella 4.1 sono indicati i valori di umidità dell'aria alla saturazione a varie temperature: a 30°C, ad esempio, la saturazione avviene quando l'aria contiene 30,3 g/m^3 di vapore acqueo, mentre a 10°C ne sono sufficienti soltanto 9,5 g/m^3.

Tabella 4.1 – Contenuto di umidità alla saturazione in funzione della temperatura dell'aria.

T (°C)	−20	−15	−10	−5	0	5	10	15	20	25	30
U_{sat} (g/m³)	0,8	1,3	2,1	3,2	4,8	6,5	9,5	13,5	17,3	23,0	30,3

L'umidità specifica (U_s) rappresenta la quantità di vapore presente nell'aria ed è una grandezza indipendente dalla temperatura. Considerata singolarmente, pertanto, non fornisce al conservatore indicazioni sufficienti circa le caratteristiche dell'aria dell'ambiente conservativo. L'umidità assoluta, allo stesso modo, esprimendo la quantità di vapore presente in un dato volume di aria, non aiuta a comprendere il grado di saturazione dell'aria.

Tra le grandezze che descrivono l'umidità ambientale la più significativa per la conservazione è senza dubbio l'umidità relativa (UR). Questa variabile segnala con immediatezza la vicinanza alle condizioni di saturazione: quando UR = 100% , l'umidità assoluta coincide con l'umidità alla saturazione. Dal livello dell'UR, inoltre, dipende il contenuto di vapore di equilibrio di molti materiali igroscopici (legno, carta, emulsioni, pellicole ecc.), determinandone in buona misura la vulnerabilità al deterioramento[21]. In conseguenza della sua dipendenza dai valori assunti dall'U_{sat}, l'umidità relativa aumenta al diminuire della temperatura e diminuisce quando T aumenta. Eventuali gradienti termici di un ambiente causano, perciò, anche una non uniforme distribuzione di UR, le cui variazioni saranno tanto più marcate quanto maggiori le differenze di temperatura. Per questo motivo negli ambienti di conservazione è importante mantenere le condizioni di temperatura quanto più costanti e uniformi, riducendo l'impatto dei fattori in grado di creare disomogeneità termica come gli impianti di riscaldamento, le infiltrazioni d'aria e le vetrate.

Sulla base del livello di umidità relativa gli ambienti possono essere classificati, come indica Lavédrine (2003)[22], secondo la tabella 4.2. L'umidità relativa corrispondente alla fascia di benessere per gli esseri umani coincide approssimativamente con l'intervallo di UR = 50–65%, mentre le condizioni igrometriche consigliate per la conservazione dei materiali fotografici in alcuni casi possono discostarsene. Questa conflittualità genera numerose difficoltà negli ambienti espositivi, in cui troppo spesso si privilegia il *comfort* dei visitatori a discapito delle esigenze dei beni in mostra.

Al § 4.3, rivolto ai meccanismi di deterioramento in relazione agli ambienti conservativi, sono illustrati alcuni degli effetti più comunemente prodotti dai parametri termoigrometrici sui diversi materiali che vanno a costituire le fotografie.

Tabella 4.2 – Classificazione degli ambienti sulla base dell'umidità relativa (da: Lavédrine, 2003).

UMIDITÀ RELATIVA	INTERVALLO DI VALORI (%)	AMBIENTE
Molto bassa	0÷20	Molto secco
Bassa	20÷40	Secco
Moderata	40÷60	Temperato
Alta	60÷80	Umido
Molto alta	80÷100	Molto umido

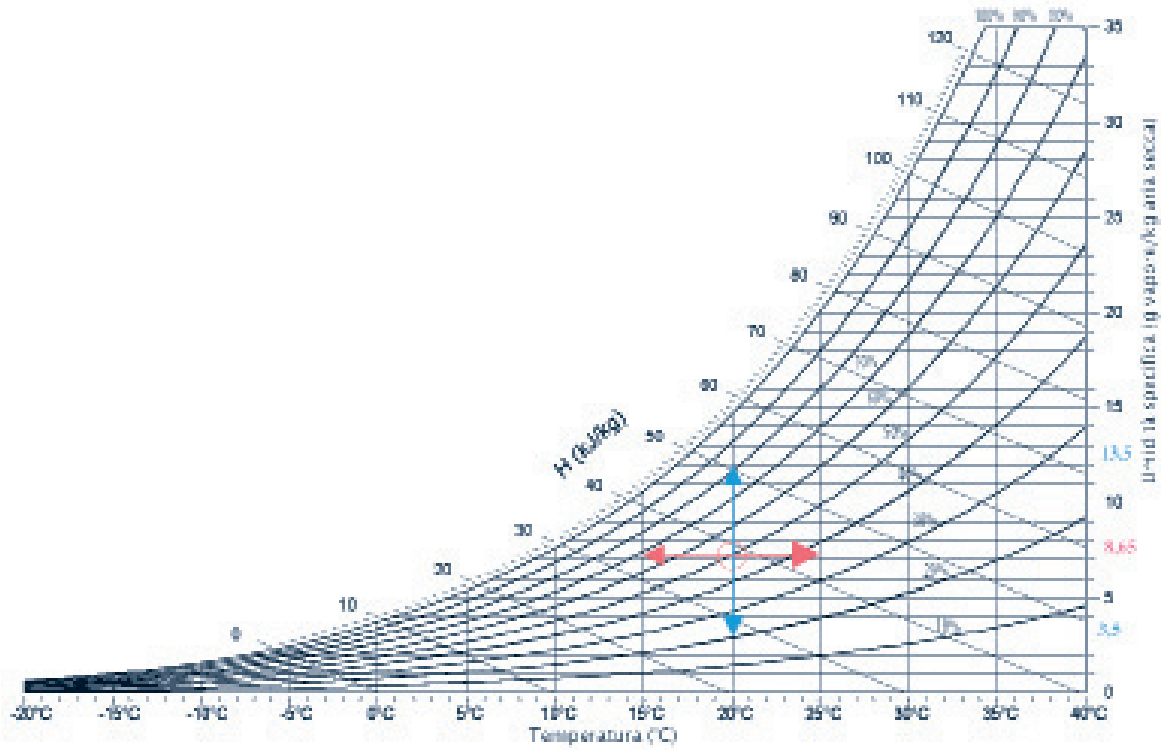


Fig. 4.2

Diagramma psicrometrico

La relazione che lega l'umidità relativa alla temperatura e all'umidità specifica risulta evidente nel diagramma psicrometrico, uno strumento utilizzato dai termotecnici per fare valutazioni sugli impianti di climatizzazione e di condizionamento. Il diagramma psicrometrico (fig. 4.2) riporta sull'asse delle ascisse la temperatura dell'aria e in ordinate i valori dell'umidità specifica. Le linee curve che attraversano il diagramma (isoplete) rappresentano i valori di umidità relativa crescenti fino alla saturazione, mentre le linee oblique che corrispondono all'entalpia permettono di conoscere l'energia scambiata nelle operazioni di condizionamento dell'aria[23]. Con l'ausilio di un diagramma psicrometrico semplificato e di strumenti di misura appropriati, un conservatore può studiare le caratteristiche dell'aria umida valutando i valori assunti dall'umidità relativa al variare delle condizioni termiche e/o della quantità di vapore presente nell'aria. Il diagramma psicrometrico può essere utilizzato per ricavare graficamente l'influenza esercitata sull'umidità relativa dalle variazioni di temperatura e di umidità specifica. Per introdurre il lettore all'utilizzo del diagramma sono state illustrate in figura due situazioni esemplificative a partire dalle condizioni di T = 20°C e U_s = 8,65 g/kg, in cui UR = 50%.

Le frecce rosse rappresentano modificazioni dell'umidità relativa dell'aria in funzione della temperatura mantenendo costante il valore di U_s: riscaldando a T = 25°C, l'UR scende al di sotto del 40%, mentre raffreddando a T = 15°C, l'UR supera il 60% raggiungendo la saturazione (UR = 100%) ad un'ulteriore diminuzione della temperatura al di sotto dei 10°C. Le frecce blu mostrano variazioni di umidità relativa in un ambiente soggetto a scambi di vapore acqueo (U_s variabile) a temperatura costante. In questo caso, i valori assunti dall'umidità relativa vanno nella stessa direzione dei cambiamenti di umidità specifica: ad un aumento o ad una diminuzione di 5 g di vapore per ogni kg di aria (U_s) corrispondono valori di UR rispettivamente di 20% e 80%. Le condizioni descritte sono molto semplificate rispetto a quanto si ve-

rifica nella realtà, in quanto considerano soltanto variazioni delle grandezze termoigrometriche prese singolarmente: nei sistemi reali, gli andamenti dei parametri termoigrometrici sono invece la risultante di modificazioni contemporanee e interdipendenti delle variabili considerate e richiedono competenze specifiche per una loro corretta interpretazione.

Altre grandezze fisiche di rilievo per esprimere il grado di saturazione dell'aria sono il punto di rugiada – *dew point* e il rapporto di mescolamento – *mixing ratio*[24]. Il punto di rugiada, T_d, così viene definito:

> «La temperatura di rugiada, comunemente chiamata "Dew point" (cioè punto di rugiada, ndr), è la temperatura alla quale una particella di aria umida dovrebbe essere raffreddata a pressione costante e a contenuto di vapore dell'aria costante per raggiungere la saturazione. In altre parole, può essere definita come la temperatura alla quale la pressione del vapore contenuto in una particella di aria raggiunge la pressione di saturazione, a pressione atmosferica e contenuto di vapore costante. [...] Per definizione, si tratta quindi di una proprietà conservativa della particella d'aria rispetto alle condizioni di riscaldamento o raffreddamento a pressione costante e senza aggiunta o rimozione di vapore.» (Camuffo, 2014).

Negli ambienti di conservazione, la temperatura dell'aria dovrebbe essere sempre mantenuta distante dalla T_d. Questa grandezza può essere impiegata per verificare che le condizioni dell'aria siano lontane dalla saturazione, calcolando la differenza tra la temperatura di contatto, misurata sulla superficie degli oggetti, e la temperatura di rugiada misurata in aria.

Il *mixing ratio*, MR, dell'aria umida (aria secca e acqua vapore) è il rapporto di mescolamento tra la massa dell'acqua vapore e la massa dell'aria secca e rappresenta la proporzione con cui le molecole di acqua sono mescolate all'aria secca:

$$MR = m_v/m_d \qquad (4.2)$$

m_v= massa vapore acqueo
m_d = massa aria secca – *dry*

Dal momento che questo rapporto è molto piccolo, viene convenzionalmente espresso in g/kg. Questa grandezza è una variabile conservativa per i processi fisici poiché è indipendente dalla temperatura, dalla pressione atmosferica e dal volume di aria coinvolto: a meno che del vapore venga sottratto o immesso nell'aria per cicli di condensazione/evaporazione o per rimescolamento con masse d'aria a diverso contenuto di vapore, può essere utilizzato come tracciante per visualizzare gli spostamenti d'aria e la diffusione di masse d'aria provenienti dall'esterno (vedi § 4.4).

4.2 Interazioni tra variabili termoigrometriche e materiali fotografici

Si definiscono igroscopiche le sostanze in grado di interagire con il vapore acqueo presente nell'ambiente che le circonda. La maggior parte delle materie prime utilizzate nella produzione di materiali fotografici è igroscopica: polisaccaridi naturali e artificiali (carta, amidi, adesivi cellulosici, pellicole fotografiche in nitrato e acetato di cellulosa), sostanze proteiche (emulsioni, leganti

e adesivi), polimeri sintetici (tereftalato di polietilene). Caratteristica precipua delle sostanze igroscopiche è la capacità di adsorbire o cedere vapore acqueo all'aumentare e al diminuire dell'umidità relativa[25]. Il processo coinvolto è la diffusione, un meccanismo di scambio di vapore tra l'aria e i materiali, che produce modificazioni del contenuto di acqua nei substrati influendo sulla loro tendenza a subire deterioramento a livello fisico, chimico e biologico.

Gli scambi di molecole d'acqua tra materiali igroscopici e ambiente sono processi reversibili. A livello macroscopico, l'adsorbimento provoca un rigonfiamento dovuto all'allontanamento reciproco delle molecole di substrato per la frapposizione di acqua tra le fibre (plastificazione), mentre il desorbimento causa una contrazione dimensionale dovuta al loro avvicinamento, come sottolinea Lavédrine (2003).

A temperatura costante, per ogni valore assunto dall'umidità relativa il contenuto di acqua nei materiali igroscopici tende a un valore di equilibrio chiamato EMC (dall'acronimo inglese: *Equilibrium Moisture Content*), che si esprime in percentuale e corrisponde ai grammi di acqua contenuti in 100 grammi di materiale secco ad una data temperatura. Si tratta di uno stato di equilibrio dinamico in corrispondenza del quale la quantità di molecole di acqua che fuoriescono dal materiale eguagliano quelle che vi penetrano. Ogni variazione di UR perturba lo stato di equilibrio e il substrato risponde modificando il suo contenuto di vapore per raggiungere l'equilibrio con il nuovo valore di UR. Gli scambi di umidità più pericolosi per la conservazione tra ambiente e materiali si verificano quando le variazioni termoigrometriche si succedono in modo rapido e brusco: nella continua tendenza ad adattarsi alle mutate condizioni dell'aria, i materiali igroscopici subiscono forti stress che, qualora superassero il limite di resistenza caratteristico, potrebbero causare fratture e distacchi tra strati di oggetti compositi[26]. Variazioni molto lente destano in genere minore preoccupazione laddove gli oggetti e i materiali che li compongono abbiano verificate capacità di adattamento nello specifico intervallo di UR. In caso di necessità di trasferire gli oggetti in ambienti con caratteristiche termoigrometriche differenti da quelle di origine, si deve procedere gradualmente per un adeguamento alle nuove condizioni, controllando che non si verifichino deterioramenti nel tempo.

Le curve che descrivono il comportamento dei materiali igroscopici in funzione dell'umidità relativa a temperatura costante si chiamano isoterme di adsorbimento. Le isoterme hanno un profilo comune (a forma di "S") e assumono diversi valori di contenuto di acqua all'equilibrio in relazione alle specifiche proprietà dei materiali igroscopici. Ad esempio, a T = 20°C e UR = 50% la gelatina, una delle componenti più diffusamente presente nei prodotti fotografici, ha un EMC pari a 8–10% (contiene cioè 8–10 grammi di acqua in 100 grammi di materiale) mentre nelle stesse condizioni l'EMC della carta è pari al 5% e quello del triacetato di cellulosa[27] solo al 2%. Inoltre le isoterme variano a seconda della composizione del materiale anche a parità di condizioni climatiche, per cui ad esempio carte fabbricate da stracci, da cellulosa chimica o da pasta meccanica oppure trattate con diversi tipi di sostanze collanti potrebbero avere differenti valori di EMC[28].

L'adsorbimento di vapore acqueo è un processo fisico spontaneo in quanto i materiali igroscopici come la carta[29], avendo una grande affinità per l'acqua, vengono stabilizzati dall'idratazione che riduce le tensioni strutturali legate alla rigida organizzazione spaziale delle molecole. Il desorbimento, al contrario, porta ad una condizione meno stabile, per cui l'acqua viene ceduta più lentamente di quanto venga assorbita. Di conseguenza, trasfe-

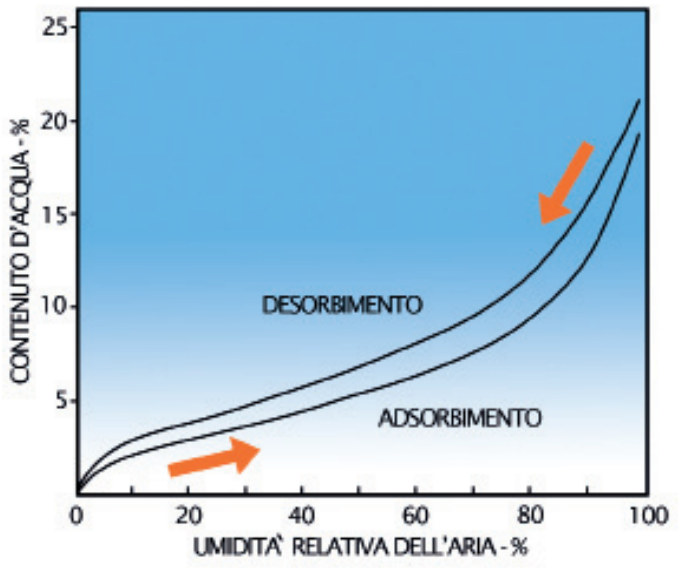


Fig. 4.3

Diagramma isotermo di isteresi igrometrica della cellulosa a 18°C

rendo in condizioni di più alta umidità relativa un oggetto in materiale igroscopico, questo tratterrà al suo interno una maggiore quantità di acqua se proviene da un ambiente più umido e meno se proviene da un ambiente più asciutto. L'influenza della "storia igrometrica" pregressa introduce gradi di incertezza sulla quantità di acqua contenuta nei materiali anche a parità di umidità relativa ambientale. Questo comportamento, più o meno accentuato ma comune a tutti i materiali igroscopici, è chiamato isteresi igrometrica[30]. Nel diagramma isotermo d'isteresi igrometrica sono tracciate le curve specifiche per ciascun materiale e i contenuti di acqua che caratterizzano un ciclo completo di adsorbimento-desorbimento ad una data temperatura. Il maggiore divario tra le due curve si situa generalmente nella zona tra il 30% e l'80% di UR (fig. 4.3).

Anche la temperatura ha effetto sulle curve di adsorbimento di umidità dei materiali igroscopici, che subiscono una leggera traslazione verso l'alto o verso il basso in direzione opposta alle variazioni di temperatura; in altre parole, a parità di umidità relativa i materiali tendono a trattenere maggiori quantità di acqua alle basse temperature e viceversa. L'influenza della temperatura sull'EMC viene in genere considerata trascurabile rispetto a quella esercitata dall'umidità relativa ma il diffondersi della pratica di conservare molti materiali fotografici a temperature sotto lo zero o prossime ad esso ha portato ad una rivalutazione della problematica. Misure sperimentali effettuate in uno studio di Bigourdan *et al.* (1997), già citato, su pellicole a colori di triacetato di cellulosa hanno evidenziato che a 50% di UR il contenuto di acqua all'equilibrio nel passaggio tra +20°C e −16°C aumenta da 2,9 a 3,5%.

Le proprietà igroscopiche di sostanze come il gel di silice in varie forme (di tipo E o M, ARTSorb®, PROSorb® ecc. – vedi Capitoli 6 e 11) e di alcune soluzioni saline sature (queste ultime cadute ormai in disuso a favore di nuovi e più pratici prodotti e utilizzate il più delle volte come riferimenti standard per la taratura di strumenti igrometrici) vengono sfruttate in campo conservativo come stabilizzatori di umidità all'interno di contenitori sigillati come vetrine, armadi, casseforti, climabox e negli imballaggi in occasione di trasferimenti o prestiti. Questi materiali, cosiddetti "tampone", sono caratterizzati da un elevato valore di EMC e scambiano una maggiore quantità di vapore acqueo e più rapidamente rispetto ai materiali da conservare, compensando le variazioni di umidità relativa dell'aria e limitando la possibilità che siano le opere stesse a scambiare vapore (con i rischi legati ai fenomeni di rigonfiamento-contrazione).

4.3 Meccanismi di deterioramento e funzioni dose-risposta

Il deterioramento indotto dalle condizioni termoigrometriche inadeguate viene comunemente suddiviso in biologico, chimico e fisico. I meccanismi che inducono il deterioramento possono essere descritti attraverso funzioni dose-risposta, le quali mettono in relazione fattori quantificabili nell'ambiente

di conservazione di un'opera (es. T, UR e radiazioni UV) a cambiamenti quantificabili sull'opera stessa (es. deformazioni e alterazioni cromatiche) oppure a variazioni quantificabili nella probabilità che si verifichino tali cambiamenti (espressa dai cosiddetti indici di rischio)[31].

Si tratta, più semplicemente, di un'espressione quantitativa della relazione causa-effetto tra fattori ambientali misurati e danno irreversibile atteso sui materiali. Le cause di deterioramento agiscono nella realtà in maniera sinergica ed è impossibile pensare che le funzioni dose-risposta risolvano completamente la conoscenza dei processi in atto: queste relazioni, piuttosto, vanno intese come strumenti utili per comprendere in che modo i meccanismi dominanti operino singolarmente.

Prima di entrare nel merito delle funzioni dose-risposta disponibili allo stato attuale della ricerca, occorre menzionare la differenza semantica che intercorre tra "funzioni dose-risposta", intese nell'accezione sopra riportata, e "funzioni di danno", funzioni che implicano una definizione precisa della soglia che separa le variazioni considerate accettabili da quelle che non lo sono[32]. A differenza delle funzioni dose-risposta, le funzioni di danno implicano decisioni basate sul valore attribuito alle collezioni e, pertanto, ne possono esistere di diverse a seconda dello specifico aspetto considerato. Mentre le funzioni dose-risposta possono essere empiricamente o sperimentalmente dedotte, le funzioni di danno servono nell'interpretazione pratica dei risultati quantitativi ottenuti con le funzioni dose-risposta ma devono essere poste in relazione con il particolare osservatore e il particolare contesto considerati nella decisione circa cosa possa essere considerato un danno.

Attraverso la conoscenza delle relazioni generali che legano i parametri termoigrometrici ai fenomeni di deterioramento è possibile giudicare la qualità conservativa degli ambienti attuali e, laddove sia previsto un cambiamento delle condizioni microclimatiche al contorno, stabilire se sussista la possibilità che il tasso di deterioramento possa aumentare, incrementando il rischio di danno (vedi § 4.7 e Capitolo 13).

Deterioramento biologico

Il deterioramento biologico in ambiente interno è legato principalmente alla presenza di microrganismi (microfunghi e batteri) e di insetti in grado di alimentarsi dei materiali organici che costituiscono

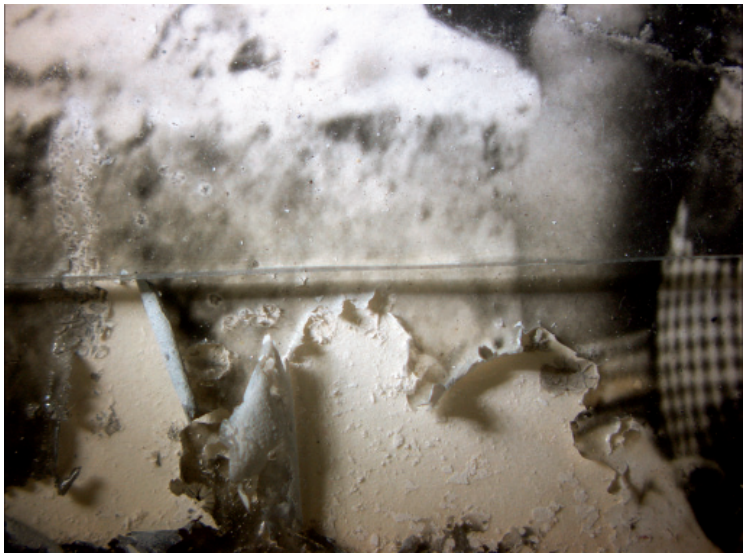
Fig. 4.4

Ingrandimento allo stereomicroscopio di stampa alla gelatina anni Cinquanta conservata in luogo umido. In breve tempo si sono evidenziati danni di natura microbica (in alto)

Fig. 4.5

Ingrandimento della stampa di figura 4.4 con danni microbici e distacchi dell'emulsione dovuti ad ambiente umido (in basso)





numerosi oggetti culturali.

In generale, quando la temperatura ambientale supera i 20°C e l'umidità relativa oltrepassa il 55-60% si verifica una situazione rischiosa perché si possono determinare condizioni favorevoli ad uno sviluppo microbico sui vari supporti, soprattutto quelli cartacei (come in alcune tipologie di fotografie) (figg. 4.4 e 4.5).

La temperatura svolge una funzione decisiva a favore di tale sviluppo quando le temperature si discostano dai valori ottimali. I microrganismi sono presenti in ogni condizione climatica: la maggior parte di essi cresce in un intervallo ottimale di temperatura compreso tra 20-30°C, ma alcuni si sono adattati a sopravvivere anche a temperature estreme (vedi Capitolo 9). La temperatura, inoltre, influenza le caratteristiche fisiche dell'acqua, principale componente delle strutture biologiche: a temperature inferiori allo zero si verifica la cristallizzazione dell'acqua cellulare e la conseguente rottura delle membrane biologiche, mentre alle alte temperature si ha una perdita idrica per evaporazione. Agisce, infine, anche sul metabolismo dei microrganismi, influenzando la cinetica delle reazioni enzimatiche per le quali esiste un range ottimale[33].

Un altro parametro importante da tenere in considerazione è l'igroscopicità del materiale influenzata da fattori quali la porosità e la rugosità delle superfici (alti valori incrementano la biorecettività del materiale) che incidono sul trattenere e assorbire acqua all'interno del substrato favorendo l'accumulo di depositi, possibili contenitori di spore e batteri.

Studi in questo campo si basano sulle curve limite di crescita atte ad individuare le combinazioni dei valori minimi di temperatura e di umidità relativa necessarie a favorire lo sviluppo fungino.

Il rischio fungino è quantificabile anche attraverso un indice semplificato, basato sull'ispezione visiva delle condizioni di crescita. Le categorie considerate (definite da Ashley-Smith, 2013) sono numerate da 0 a 6.

0. Nessuna crescita;
1. Crescita rilevabile soltanto con l'ausilio del microscopio;
2. Moderata crescita visibile al microscopio (con copertura >10%);
3. Crescita (appena) visibile ad occhio nudo;
4. Crescita visibile, con copertura >10%;
5. Crescita visibile, con copertura >50%;
6. Crescita visibile, con copertura del 100%.

Nel 2001, Klaus Sedlbauer[34] del "Fraunhofer Institute for Building Physics IBP" di Stoccarda, ha introdotto il contributo chiave del substrato (il quale determina l'effettiva disponibilità di nutrienti necessari alla crescita dei microrganismi) all'interno del modello ad isoplete, le curve che permettono di determinare se possa verificarsi la germinazione delle spore e con quale tasso di crescita, in relazione alle combinazioni di temperatura ed UR dell'ambiente.

Di fatto i modelli di microbiologia predittiva, per i quali sono disponibili appositi software, vengono da tempo utilizzati in microbiologia alimentare e ambientale. Il non poter conoscere la storia pregressa del bene e degli elementi stocastici che ne influenzano lo stato conservativo, rappresentano il sostanziale limite all'utilizzo di questi sistemi di calcolo nel campo dei beni culturali. Essi rappresentano comunque una sfida ed una opportunità per un settore di ricerche innovative al fine di operare una corretta valutazione del rischio negli ambienti conservativi.

Il rischio di danno ad opera di insetti (isotteri, coleotteri anobidi e dermestidi, tisanuri, lepismatidi, blattoidei ecc.) è come per i microrganismi funzio-

ne, oltre che della disponibilità di nutrienti, anche dell'umidità relativa e della temperatura ambientali (vedi Capitolo 8). Negli insetti, che sono eterotermi e cioè non hanno un sistema di regolazione corporea, la temperatura ha una grande importanza influenzando significativamente sviluppo e attività riproduttiva. Ad esempio lo sviluppo di *Lepisma saccharina* (lepismatide), il più comune insetto deteriogeno delle fotografie con supporto cartaceo (figg. 4.6 e 4.6a), è favorito a temperature comprese tra i 22°C e i 32°C. La presenza di questa specie potrebbe, inoltre, indicare un ambiente polveroso e molto umido. Per i coleotteri anobidi le temperature favorevoli partono dai 10°C, con un *optimum* intorno a T = 22–25°C[35], per gli psocotteri liposcelidi le popolazioni possono aumentare a T tra i 22,5–32,5°C con una UR di 55–75% (Opit e Throne, 2009)[36]. Anche per i blattoidei l'ambiente riveste un ruolo importante e una umidità ambientale alta, unitamente ad una temperatura elevata, certamente favoriscono la diffusione di questi insetti.

Sviluppo embrionale, post-embrionale e attività riproduttiva sono influenzati anche dai valori igrometrici in quanto l'approvvigionamento idrico risulta vitale per la sopravvivenza di questi organismi e di altri artropodi deteriogeni.

Molte delle istituzioni che dispongono di collezioni storiche e artistiche hanno assistito, negli ultimi anni, ad un rapido aumento del deterioramento biologico dovuto agli insetti. Per ricavare un'idea semi-quantitativa del rischio associato alla colonizzazione entomologica si può ricorrere al calcolo dei "gradi-giorno" pari al numero di gradi Celsius totali con cui la temperatura supera il limite di 15°C nel periodo considerato[37].

$$\text{gradi-giorno} = \text{numero di giorni} \times (T - 15) \qquad (4.3)$$

Due formule permettono poi di ricavare un'indicazione sulla possibilità che sussista attività entomologica:

1. gradi-giorno annuali con UR >75% e T <30°C
2. gradi-giorno annuali con T <30°C

Sebbene sia possibile stabilire una correlazione tra il numero di gradi-giorno e il ciclo vitale di determinate specie di insetti, il calcolo descritto, non tenendo conto della variabilità tra specie e specie, fornisce soltanto un quadro generale, poiché non mette in relazione diretta i gradi-giorno con la popolazione di insetti o il grado di danno relativo. Consente soltanto una generalizzazione di quanto le condizioni termoigrometriche interne favoriscano la presenza di questi organismi. Il rischio per gli oggetti, ad ogni modo, dipende molto dalle pratiche di gestione degli ambienti e dalle specie infestanti rinvenute.

Deterioramento chimico La velocità del deterioramento chimico risulta fortemente dipendente dalla temperatura e dalla quantità d'acqua disponibile per le reazioni. Come anticipato al § 4.1, la temperatura influenza la cinetica delle reazioni chimiche e l'andamento del deterioramento può essere espresso attraverso relazioni esponenziali che legano i parametri microclimatici dell'ambiente considerato alla finestra temporale in cui si stima che l'oggetto rimanga in quelle condizioni. Ad esempio il *Lifetime Multiplier* e il *Preservation Index* sono due indici molto utilizzati per quantificare il rischio chimico.

Il *Lifetime Multiplier* (LM), in forma di rapporto adimensionale, stabilisce un confronto tra la durata prevista per il materiale in determinate condizioni

di T e di UR rispetto alle condizioni standard di T = 20°C e UR = 50%[38].

$$LM = (50\%/UR)^{1,3} \times e^{Ea/R\ (1/T\ -\ 1/293)} \qquad (4.4)$$

UR = umidità relativa in percento
T = temperatura assoluta in gradi Kelvin
Ea = energia di attivazione (kJ/mol)
R = costante dei gas perfetti [8,3145 J/(mol × K)]

L'equazione che definisce LM è stata proposta da Michalski (2002), in un noto articolo intitolato "Double the life for each five-degree drop, more than double the life for each halving of relative humidity" traducibile come "Raddoppiare la vita — ndr la durata stimata delle opere — per ogni diminuzione di 5°C di temperatura, piuttosto che per ogni dimezzamento del livello di umidità relativa". Questa equazione considera l'energia di attivazione delle reazioni di deterioramento più comuni, la quale per la maggior parte dei materiali è compresa tra 70 kJ/mol (ingiallimento delle vernici) e 100 kJ/mol (idrolisi della cellulosa). Quando LM>1 è possibile che la collezione si conservi più a lungo che nelle condizioni standard. In un ambiente molto freddo e secco, tuttavia, LM può arrivare a superare 15, valore di scarso significato se si considera che la durata della carta nelle condizioni standard supera già i 100 anni. Se LM<1 il tasso di deterioramento stimato è maggiore rispetto a quello in condizioni standard. La soglia di rischio è impostata a LM = 0,5, corrispondente al raddoppio della velocità di dimezzamento della durata stimata del materiale. L'equazione non è affidabile a livelli di umidità relativa troppo bassi (<25%) o troppo alti (>75%), tendendo a sottostimarne gli effetti.

Dal momento che non viene considerato uno specifico tipo di carta, il *Lifetime Multiplier* non tiene conto delle grandi differenze nella velocità di deterioramento che intercorrono tra carte acide e carte alcaline antiche e moderne. Studi più recenti hanno fornito una descrizione più comprensiva del deterioramento delle carte attraverso una relazione sperimentale del processo di idrolisi della cellulosa che include anche pH della carta e il suo grado di polimerizzazione[39].

Il *Preservation Index* (PI) è un indice elaborato nei laboratori scientifici dell'Image Permanence Institute (vedi § 1.3 – l'IPI accanto all'attività di ricerca scientifica collabora anche allo sviluppo degli standard ISO per la conservazione dei supporti fotografici) per valutare l'aggressività dell'ambiente di conservazione nei confronti di una grande varietà di materiali presenti nelle collezioni museali[40]. Il PI è basato su una relazione empirica che lega temperatura e umidità relativa dell'ambiente al tasso di deterioramento chimico di supporti fotografici. L'equazione alla base del calcolo è stata ricavata sperimentalmente dallo studio della reazione di idrolisi dell'acetato di cellulosa, il polimero base di di pellicole fotografiche e cinematografiche. Alcune applicazioni disponibili online permettono di calcolare questi indici a partire dai dati termoigrometrici raccolti[41].

Una utile funzione dose-risposta è la relazione empirica che lega lo scolorimento delle fotografie a colori alle condizioni di temperatura, umidità relativa e concentrazione di acido acetico, risultato l'inquinante più abbondante all'interno dei contenitori archivistici e identificato tra gli agenti chimici che inducono i maggiori problemi per il deterioramento dei materiali fotografici.

Nel lavoro condotto da Fenech *et al.* (2013)[42] sono state prese in esame proprio le fotografie a colori che risultano tra i materiali più vulnerabili presenti nelle collezioni d'archivio. Il tasso di scolorimento può essere espresso come segue:

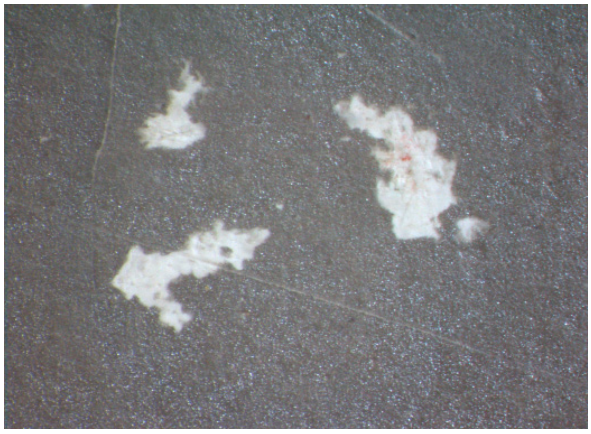
$$\ln(\Delta E_{RGB}/t) = 32 + 0{,}0002\,(AA) + 0{,}01 \times (UR) - 11 \times (1000/T) \qquad (4.5)$$

dove ΔE_{RGB} è la variazione cromatica complessiva, espressa in coordinate RGB, che si verifica nel tempo t (in anni) e definita come:

$$\Delta E_{RGB} = \sqrt{(1 - R_t/R_0)^2 + (1 - G_t/G_0)^2 + (1 - B_t/B_0)^2} \qquad (4.6)$$

dove R_0, G_0 e B_0 sono i valori delle coordinate RGB prima del processo di deterioramento e R_t, G_t e B_t sono le coordinate RGB al tempo t. AA è la concentrazione di acido acetico (in ppb), UR è l'umidità relativa (in %) e T è la temperatura (in K, equivalente alla temperatura in °C +273,15). Il sistema di coordinate RGB, modello di colore additivo (descritto nel 1936 dalla CIE), è adeguato al monitoraggio delle variazioni cromatiche nelle stampe a colori in quanto rappresenta le componenti azzurre, gialle e magenta dei coloranti utilizzati nelle fotografie a colori. Fenech nello stesso lavoro del 2013 ha inoltre messo a punto un metodo pratico per calcolare la durata del materiale fotografico, integrando una funzione dose-risposta unitamente a considerazioni sui criteri con cui stabilire la perdita del suo valore.

Deterioramento meccanico Gli oggetti scambiano incessantemente calore e vapore per raggiungere le condizioni di equilibrio con l'ambiente che li circonda. Questo processo dinamico, che inizia dalla superficie fino a coinvolgere la parte più interna delle opere, implica la trasmissione del calore e la diffusione del vapore attraverso i costituenti per mezzo dei gradienti di temperatura e umidità relativa instauratisi tra le porzioni a diverse condizioni termoigrometriche. I cambiamenti dimensionali che ne





Figg. 4.6, 4.6a

Stampa alla gelatina degli anni Venti con minute erosioni imputabili a lepismatidi (fig. 4.6). Visibile anche il fenomeno dello "specchio d'argento" (vedi Capitolo 6), tipica alterazione dei procedimenti argentici. Nell'ingrandimento (fig. 4.6a) si evidenziano allo stereomicroscopio alcune minute erosioni presenti



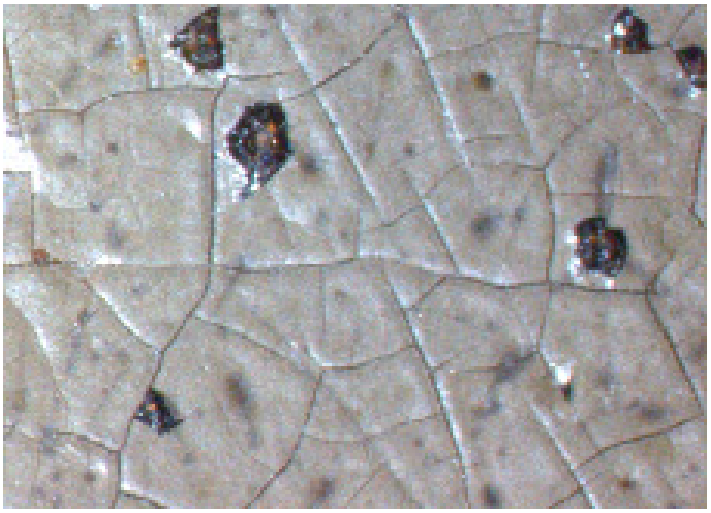


Fig. 4.7

Ingrandimento allo stereomicroscopio di crettature su stampa all'albumina di fine Ottocento. Presente anche solfurazione accentuata e diffuso ingiallimento (in alto)

Fig. 4.8

Ingrandimento allo stereomicroscopio di crettature del collodio su ferrotipo di fine Ottocento (in basso)

scaturiscono possono essere causati da variazioni di temperatura (espansione e contrazione termica) e di umidità relativa (assorbimento e desorbimento di vapore).

I materiali possono rispondere alle sollecitazioni meccaniche dovute alle variazioni termoigrometriche con un comportamento di tipo elastico (e dunque reversibile) oppure plastico, il quale provoca deformazioni permanenti negli oggetti[43]. La frattura interviene quando la tensione applicata supera il carico di rottura del materiale. L'intensità della frattura e la soglia di valori termoigrometrici alla quale si verifica sono proprietà intrinseche del materiale, influenzate dal processo di manifattura dell'oggetto e dalle condizioni dell'ambiente nel quale è stato mantenuto nel corso della sua storia conservativa. I materiali organici igroscopici sono in genere sensibili alle variazioni termiche e, all'aumentare della temperatura, il restringimento dovuto alla perdita di umidità sovrasta l'effetto dell'espansione termica. I cambiamenti dimensionali nei materiali igroscopici sono trainati dalle variazioni del loro contenuto di vapore di equilibrio, il quale dipende direttamente dall'umidità relativa dell'ambiente.

Le funzioni dose-risposta per il deterioramento meccanico riguardano principalmente materiali altamente anisotropi come il legno e tengono conto dei cicli di variazioni di umidità relativa per cui possono intervenire fratture.

Nel caso di oggetti di composizione eterogenea e stratigrafica come le fotografie, il deterioramento potrebbe insorgere in conseguenza di tensioni interne generate dalla diversa risposta dimensionale dei singoli strati alle sollecitazioni ambientali (ad esempio tra la barite della preparazione e/o le vernici di finitura e il supporto cartaceo). Manufatti costituiti da materiali eterogenei che presentano una superficie di vincolo, inoltre, adattandosi in maniera differente alle variazioni igrometriche, sono soggetti a distacchi e/o deformazioni quali ondulazioni e imbarcamenti.

Una manifestazione dovuta a fenomeni di adsorbimento e desorbimento d'acqua (legati a variazioni di umidità dell'aria) da parte del supporto cartaceo è la *craquelure*, che colpisce a livello profondo l'emulsione ed è la tipica alterazione delle albumine (fig. 4.7) le quali tendono a disidratarsi e a "screpolarsi" per la denaturazione dei legami proteici[44]. Invecchiando lo strato di albume si espande e si contrae sempre meno e questa rigidità non consentendo al legante di seguire l'andamento del supporto cartaceo induce microfratturazioni che possono anche concentrarsi nelle zone più predisposte alle ten-

sioni. Caratteristica delle crettature è che seguono generalmente la direzione della macchina con cui è stata prodotta la carta (soggetta a rigonfiamenti e contrazioni nel verso trasversale alla lunghezza delle fibre[45]) e possono altresì determinare distacchi dello strato immagine. Questa manifestazione si riscontra anche in altri tipi di supporto con legante al collodio (fig. 4.8) e alla gelatina (figg. 4.9–4.10a) o nelle vernici di finitura utilizzate nell'Ottocento e nel Novecento a fini estetici e conservativi.



Figg. 4.9

Particolare di stampa alla gelatina, primi Novecento, con crettature e distacchi

Le variazioni termoigrometriche inducono, infine, deformazioni più o meno accentuate e distacchi delle emulsioni da supporti quali pellicole (fig. 4.11), vetro (fig. 4.12) e carte (compresi i cartoni di montaggio usati sino agli anni 1920 ca.), infragilimenti, adesioni emulsione-emulsione o emulsione-supporto[46] nonché adesioni tra emulsione ed eventuali involucri protettivi. Tipico di questo ultimo inconveniente è l'adesione delle buste in *pergamin*, molto usate in passato, che hanno provocato seri problemi conservativi anche e soprattutto nel momento in cui si devono attuare interventi di restauro (vedi § 9.2).



Figg. 4.10, 4.10a

Positivo unico su carta degli anni Venti con emulsione alla gelatina. Visibili sono: crettature, sollevamenti e distacchi dello strato di gelatina (fig. 4.10a)







Fig. 4.11

Particolare di pellicola in nitrato di cellulosa degli anni Quaranta in cui si evidenziano distacchi dell'emulsione (in alto)

Fig. 4.12

Particolare di negativo su vetro alla gelatina degli anni Trenta con distacchi dell'emulsione (in basso)

4.4 Monitoraggio termoigrometrico

Gli oggetti possono essere studiati come sistemi fisici interagenti con l'ambiente circostante che si modificano per porsi in equilibrio con esso[47]. La caratterizzazione degli ambienti può essere effettuata grazie al monitoraggio nel tempo e nello spazio dei parametri che maggiormente influenzano il comportamento dei materiali ivi conservati. Obiettivo delle campagne di indagine microclimatica sono la valutazione della qualità *indoor* di conservazione e la determinazione delle cause che hanno provocato o potrebbero essere responsabili in futuro del deterioramento delle opere. Conservare, in questo senso, significa impostare una corretta strategia di gestione ambientale per creare attorno al bene un ambiente idoneo[48].

Per spiegare l'approccio usato nell'analisi del microclima è utile seguire la schematizzazione proposta nel modello "a matriosca" elaborato da Michalski nella figura 4.13, in cui le collezioni sono inserite in una sequenza di gusci concentrici che agiscono ognuno come strato di protezione rispetto alle forzanti esterne, determinando l'instaurazione di condizioni particolari al suo interno[49]. L'indagine microclimatica dovrebbe seguire un percorso che dal generale conduce alle condizioni specifiche del microambiente che circonda il bene: partendo dal sito e dalla sua climatologia, si considerano le caratteristiche dell'edificio e il suo ambiente interno, fino ad arrivare alle condizioni termoigrometriche dei singoli locali/sale e all'interno degli arredi e/o dei contenitori di deposito o di esposizione. Vetrine espositive e contenitori di archivio hanno la duplice funzione di proteggere dalla polvere e dagli urti meccanici e sono frequentemente utilizzati in musei, archivi e biblioteche come strumenti di conservazione preventiva in grado di stabilire al loro interno un microclima diverso da quello del locale/sala[50]. Secondo il modello "a matriosca", questi contenitori costituiscono l'ultima barriera contro l'azione deteriogena di ambienti in cui le condizioni microclimatiche non sono adatte alla protezione. Uno studio recente ha analizzato i dati di temperatura e di umidità relativa raccolti all'interno di una vetrina espositiva per studiarne l'efficacia in termini conservativi e valutare l'impatto del cambiamento climatico atteso nel periodo 2041–2070[51].

Il rilievo termoigrometrico Lo studio dell'ambiente, facendo riferimento alla normativa UNI EN 15757:2010 già citata, deve basarsi su controlli di temperatura e di umidità relativa che abbiano durata pari ad almeno

un anno o suoi multipli interi. Le misure nei depositi e nelle sale espositive, infatti, devono essere in grado di fornire informazioni sull'evoluzione dei parametri nel corso del tempo e comprendere periodi rappresentativi dell'andamento stagionale (fig. 4.14).

Per lo svolgimento del monitoraggio è necessario stabilire e selezionare il numero e il tipo di sonde di misura sulla base delle caratteristiche dell'ambiente, quali la volumetria e la variabilità spaziale e temporale delle grandezze fisiche. Al fine di comprendere, nella valutazione globale, l'influenza giocata dalla climatologia locale e dai fenomeni meteorologici, sarebbe bene inoltre collocare della strumentazione all'esterno. Laddove ci sia ragione di verificare le condizioni in arredi/contenitori, infine, potrebbe essere utile predisporre postazioni di misura al loro interno.

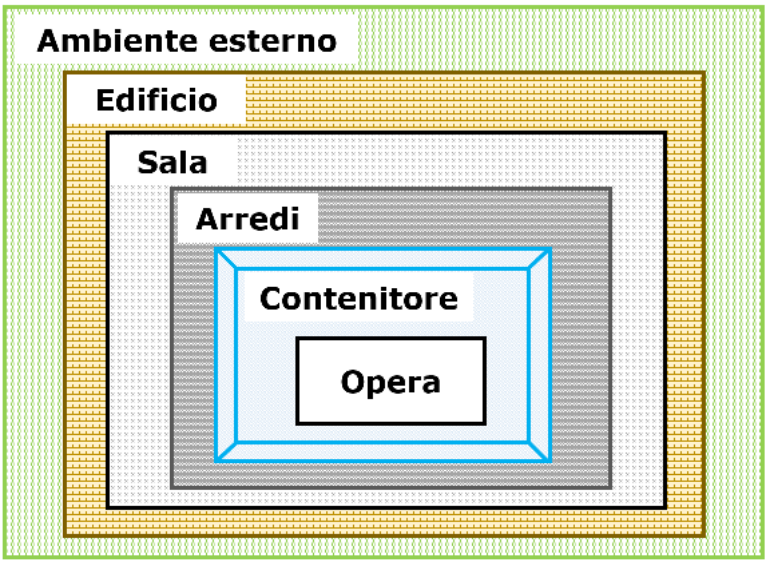


Fig. 4.13

Modello "a matriosca" per spiegare l'approccio seguito nell'analisi microclimatica dall'edificio fino al contenitore

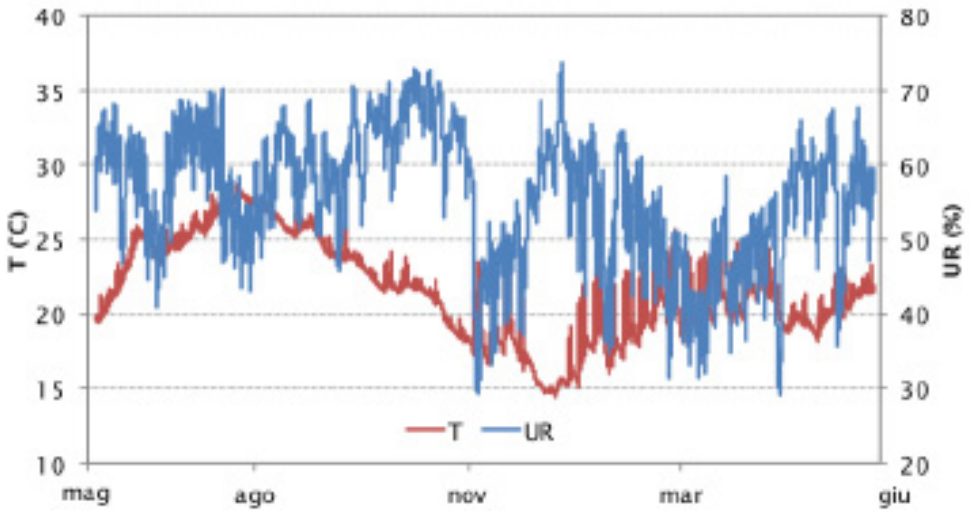
Per una corretta valutazione delle condizioni e delle fluttuazioni dello stato dell'aria in un ambiente confinato ci si deve basare su dati rappresentativi, in grado di descrivere adeguatamente la situazione ambientale complessiva. Le misure andrebbero raccolte in più posizioni nel locale e a diverse quote, al fine di individuare eventuali gradienti spaziali sia orizzontalmente (ad esempio in prossimità delle aperture e dei sistemi di condizionamento) sia lungo la verticale (stratificazioni dell'aria che potrebbero innescare celle convettive). In questo modo, la successiva analisi dei dati dovrebbe consentire di evidenziare le variazioni termoigrometriche a carattere ciclico, dovute a escursioni termiche stagionali e giornaliere, all'accensione/spegnimento di impianti, all'accesso di visitatori ecc. e le variazioni di tipo anomalo, sintomo di eventi improvvisi e inaspettati come perdite, guasti e infiltrazioni. Le misurazioni di temperatura e di umidità relativa a carattere puntuale o istantaneo possono essere utili per caratterizzare situazioni particolari o per raccogliere informazioni preliminari per un successivo studio più approfondito[52].

Monitoraggi a medio termine possono altresì fornire dati utili per la messa a punto degli impianti di regolazione del clima o per la ricognizione di situazioni circoscritte nel tempo quali, ad esempio, le esposizioni temporanee. Durante mostre ed eventi, soprattutto nel caso di opere generalmente non fruibili al pubblico o disponibili in prestito, le rilevazioni dovranno essere eseguite anche dentro le teche espositive, utilizzando apparecchiature poco invasive che consentano l'accesso ai dati senza necessità di perturbare l'assetto termoigrometrico interno. Nei casi in cui sia elevato il numero di visitatori, inoltre, può essere importante stimare l'influenza esercitata dalla presenza di persone sul microclima della sala espositiva, in quanto il contributo antropico totale potrebbe risultare non trascurabile (ogni persona rilascia in un'ora circa 100 ml di acqua e una quantità di calore pari a quello emanato da una lampadina di 60 watt[53]).

Il monitoraggio in continuo dovrebbe essere impostato con una frequenza sufficiente a descriverne sia i cicli stagionali sia le fluttuazioni a breve ter-

Fig. 4.14

Andamenti diacronici di temperatura (T) e di umidità relativa (UR) dell'aria registrati all'interno di un ambiente espositivo nel corso di un intero anno solare



mine. L'intervallo tra osservazioni consecutive dovrebbe essere scelto allo scopo di registrare la storia temporale del parametro con il minimo numero di osservazioni[54].

Nell'impostazione degli strumenti di misura, inoltre, il tempo di campionamento dei dati andrebbe stabilito tenendo conto della vulnerabilità delle opere e del tempo che impiegano a rispondere alle sollecitazioni microclimatiche, in quanto fluttuazioni di più breve periodo potrebbero non destare preoccupazione per alcuni dei manufatti conservati nelle collezioni di musei, archivi e biblioteche[55].

La normativa UNI 10829:1999[56] e lo standard UNI EN 15757:2010 consigliano misurazioni su base almeno oraria, mentre la norma UNI 10586:1997[57] suggerisce intervalli non maggiori di 30 minuti. García-Diego *et al.* (2016)[58] hanno confrontato diversi intervalli di campionamento all'interno di un ambiente museale (Sala Sorolla del Museo Pio V di Belle Arti di Valencia) constatando che la raccolta di dati ad alta frequenza (esempio un minuto), oltre che di difficile gestione per la successiva elaborazione, risulta ingiustificata al fine dell'applicazione delle normative più recenti.

Nello stabilire il posizionamento dei sensori si possono condurre rilievi esplorativi preliminari per ottenere mappature spaziali. La distribuzione della temperatura in ambienti confinati, infatti, dipende da un complesso bilancio di energia, comprendente la presenza di fonti di calore (radiazione solare, sistemi HVAC, corpi caldi) e di "pozzi" di calore come pareti e soffitto. La circolazione dell'aria, inoltre, è influenzata dalla presenza di finestre e porte, le quali permettono l'ingresso di masse d'aria dall'esterno a diverso contenuto igrometrico. Negli ambienti confinati privi di sistemi di ventilazione, infine, può essere utile affiancare misure di velocità e direzione dell'aria in prossimità delle superfici per studiare il trasporto e la deposizione degli inquinanti. Per valutare i flussi d'aria, le misure anemometriche possono essere effettuate in aria libera e/o a ridosso delle pareti per mezzo di anemometri a filo caldo, basati sul raffreddamento dell'elemento sensibile, oppure di anemometri sonici, strumenti più sofisticati che impiegano impulsi ultrasonici.

Strumentazioni di riferimento La scelta della strumentazione più idonea da utilizzare al fine di ottenere la misura dei parametri microclimatici deve essere effettuata sulla base di un compromesso tra diversi fattori, fra

cui l'intervallo operativo di misura, l'accuratezza, la risoluzione, il tempo di risposta e i costi.

Da alcuni anni, la tecnologia ha affiancato alle tradizionali apparecchiature analogiche strumentazioni elettroniche più accurate e meno invasive, in grado di acquisire e memorizzare una grande quantità di dati con frequenza programmabile. Il numero massimo di osservazioni che può essere registrato prima che sia necessario l'intervento di un operatore dipende dalla memoria associata alla strumentazione e dalla frequenza delle acquisizioni. Per evitare di compromettere l'accuratezza e la prontezza di risposta degli apparecchi, tutti gli strumenti necessitano di periodiche revisioni, tarature e controlli; mancate manutenzioni, infatti, potrebbero inficiare la qualità dei dati e, di conseguenza, l'attendibilità delle conclusioni che è possibile trarne.

Le norme europee UNI EN 15758:2010 e UNI EN 16242:2013[59], recepite dall'UNI, descrivono le numerose tipologie di strumenti disponibili e indicano le specifiche tecniche che dovrebbero possedere per l'impiego nel monitoraggio termoigrometrico degli ambienti conservativi. Controlli periodici e taratura dovrebbero avere cadenza almeno annuale.

La normativa UNI EN 15758:2010 "Conservazione dei beni culturali. Procedure e strumenti per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie degli oggetti", riporta la strumentazione e le caratteristiche minime raccomandate deputate alla misura della temperatura dell'aria e della superficie degli oggetti. Tra quelli raccomandati, la normativa riporta i globotermometri (che includono il contributo radiante) e i sensori di superficie, divisi tra quelli di contatto (e sfioramento) e quelli remoti (basati sulla radiazione infrarossa). Per quanto riguarda la misura della temperatura dell'aria, lo standard raccomanda di adottare precauzioni per ridurre il disturbo da radiazioni, prestando particolare attenzione alla schermatura dei sensori da sorgenti radiative (esempio sole, lampadine, termosifoni). Le misurazioni, inoltre, andrebbero eseguite attendendo un periodo pari almeno a 1,5 volte la costante di tempo, tenendo in considerazione l'inerzia termica della sonda (con o senza schermo) che introduce un ritardo nel raggiungimento dell'equilibrio.

In tabella 4.3 sono mostrate le specifiche tecniche che gli strumenti impiegati per le misure di temperatura dell'aria dovrebbero soddisfare.

Tabella 4.3 – Caratteristiche minime raccomandate per gli strumenti utilizzati per misurare la temperatura dell'aria secondo la UNI EN 15758:2010.

TERMOMETRO PER LA TEMPERATURA DELL'ARIA	
Intervallo di misura	*Outdoors* da −40°C a 60°C *Indoors* da −20°C a 60°C
Incertezza	Richiesta 0,5°C; desiderabile 0,2°C
Ripetibilità	0,1°C
Risoluzione	0,1°C
Tempo di risposta	Il più breve possibile, non >60 s
Stabilità	±0,2°C/anno

La normativa UNI EN 16242:2013 "Procedure e strumenti per misurare l'umidità dell'aria e gli scambi di vapore tra l'aria e i beni culturali" specifica le procedure e la strumentazione per misurare l'umidità relativa (UR) in aria, sia in ambienti confinati che all'esterno. Per l'umidità relativa consiglia l'utilizzo di sensori capacitivi o resistivi, in quanto dispongono di dimensioni ridotte, di

un ampio intervallo di misura e di una buona accuratezza (nel caso degli strumenti di fascia più alta). I sensori a capello, molto diffusi in passato, sono da evitarsi in quanto affetti da scarsa affidabilità e dalla necessità di frequente manutenzione.

Lo standard raccomanda, in fase di lettura del valore, di non respirare vicino al sensore e di non avvicinarsi troppo allo strumento, attendendo il tempo necessario per raggiungere l'equilibrio. Il sensore capacitivo è costituito di un materiale idrofilo (ossidi metallici o polimeri) che si pone in equilibrio con l'umidità relativa ambientale: il materiale agisce da elettrodo, variando la sua costante dielettrica in funzione del contenuto di umidità del materiale misurato. Il materiale polimerico ha il vantaggio di non essere danneggiato dall'acqua di condensa e di essere meno affetto da contaminazioni ad opera degli inquinanti, fornendo una migliore linearità e una migliore stabilità rispetto agli ossidi metallici. L'involucro in plastica per la protezione dagli urti può, tuttavia, introdurre un fattore di disturbo nella misura a causa dell'inerzia termica propria del materiale di cui è costituito[60].

Nella normativa vengono riportati i requisiti minimi di cui la strumentazione adottata dovrebbe disporre, in particolare per misure in ambienti confinati (tab. 4.4).

Tabella 4.4 – Caratteristiche minime raccomandate per igrometri con sensore capacitivo utilizzati per misurare l'UR dell'aria secondo la UNI EN 16242:2013.

IGROMETRO CON SENSORE CAPACITIVO O RESISTIVO	
Intervallo di misura	5%–95% (da −10°C a 50°C)
Incertezza	3%
Ripetibilità	2%
Risoluzione	1%
Tempo di risposta in aria ferma	Richiesto: ≤5 min; desiderabile: ≤2 min
Stabilità	≤2%/anno

I sistemi multi-acquisitori, che consentono il monitoraggio contemporaneo anche in più punti di uno stesso ambiente oppure in diversi locali, sono provvisti di un'unica centralina su cui si innestano i canali collegati alle varie sonde (termoigrometri, anemometri, sensori di anidride carbonica ecc.). I radiologger, oltre alla raccolta dei valori misurati, permettono la trasmissione dei dati attraverso segnali radio ad un ricevitore entro distanze limitate; la strumentazione più recente sfrutta la rete WiFi oppure è dotata di connessione autonoma grazie ad una sim integrata. La possibilità di rilevare in tempo reale le situazioni critiche offre il vantaggio di poter procedere tempestivamente agli opportuni interventi a supporto della conservazione preventiva. Molti musei, archivi, biblioteche e gallerie hanno adottato questo sistema di acquisizione dei dati per la semplicità di uso e per la ridotta invasività, trattandosi di apparecchiature utilizzabili anche senza cablaggio. Lo scarico e la raccolta dei valori possono essere eseguiti direttamente su PC, agevolandone la successiva analisi. Per approfondimenti sugli strumenti, si rimanda a testi reperibili in letteratura[61] e poiché in continua evoluzione, si consiglia una ricerca sulle caratteristiche strumentali degli apparecchi più recenti disponibili sul mercato.

Analisi degli andamenti temporali Le serie di dati microclimatici raccolti durante le campagne di misurazione forniscono i valori numerici ordinati cronologicamente; tali dati possono essere gestiti grazie a programmi dedicati forniti insieme ai logger oppure mediante fogli elettronici (es. Excel) in grado di effettuare alcune utili elaborazioni statistiche[62]. La rappresentazione dei dati può essere restituita in forma tabulare (parametri riassuntivi) e in forma grafica, il cui vantaggio è l'immediata percezione di alcune caratteristiche quali andamenti diacronici e valori anomali. I software in grado di fornire elaborazioni statistiche sono numerosi e facilmente accessibili, anche se l'utente non esperto potrebbe incorrere in alcune difficoltà nelle operazioni di trattamento dei dati e nella corretta interpretazione delle elaborazioni che è possibile ottenere.

Processare e analizzare i dati sono passaggi necessari per ricavare indicazioni essenziali circa l'adeguatezza o meno dell'ambiente di conservazione (sia esso di deposito o espositivo), per fornire una corretta interpretazione in funzione della sua gestione (es. l'afflusso di visitatori, l'accensione/spegnimento degli impianti di termoregolazione, delle luci, l'apertura/chiusura degli accessi all'esterno, l'andamento del clima esterno ecc.) e infine per esprimere in modo sintetico i risultati dell'indagine svolta.

Per analizzare le tendenze complessive nelle serie di dati esistono numerosi indici di centralità e di variabilità. La media e la deviazione standard sono utilizzate nella statistica parametrica, cioè quando le variazioni attorno al valore centrale sono casuali e la distribuzione dei valori è simmetrica. La mediana (pari al valore che si posiziona esattamente a metà delle osservazioni ordinate in ordine crescente) e la semi-dispersione massima (pari alla metà della distanza tra il valore massimo e il valore minimo) sono indici utili per descrivere distribuzioni non parametriche e sono meno influenzate dalla presenza di valori estremi.

Il primo passo nell'analisi dei dati microclimatici è una visualizzazione sintetica dei dati. La rappresentazione attraverso grafici a scatola e baffi - *box-and-whiskers-plots* (fig. 4.15) è utile a individuare immediatamente i principali parametri statistici che descrivono le serie di valori raccolti (mediana, dispersione dei dati, *range* interquartile). Ciascun box racchiude il 50% dei dati, con la mediana rappresentata dalla linea orizzontale interna[63]. Il margine superiore e il margine inferiore segnano i limiti del ±25% della popolazione di dati, cioè il 25-esimo e il 75-esimo percentile, rispettivamente. Le linee che partono dai margini della scatola (i "baffi") indicano la variabilità della distribuzione al di fuori del box, racchiudendo circa il 99% della totalità dei valori registrati. Qualunque valore esterno all'intervallo delimitato dai baffi viene detto *outlier* ed è mostrato come punto singolo.

Gli istogrammi sono grafici che consentono di rap-

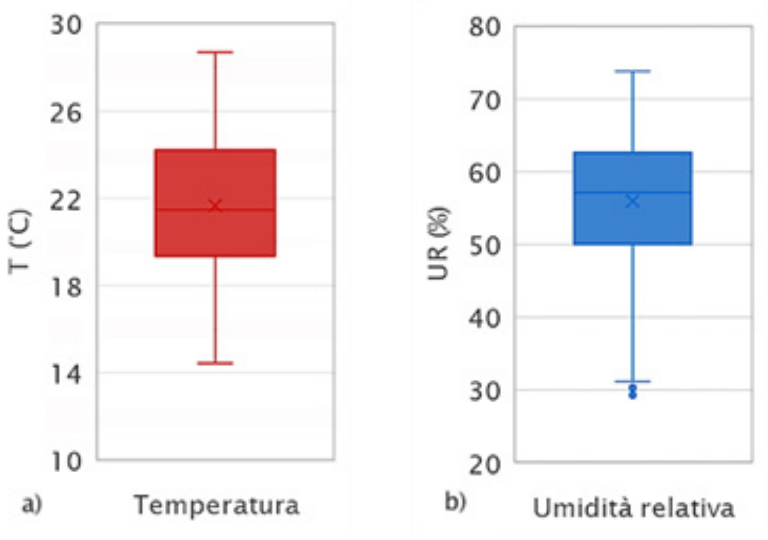


Fig. 4.15

Grafico a scatola e baffi dei dati di temperatura (a) e di umidità relativa (b) dell'aria registrati nel corso di un anno. L'indicatore "x" segnala il valore della media aritmetica

presentare efficacemente la frequenza (espressa in numero di occorrenze o in forma di percentuale) con cui i dati si distribuiscono entro ciascuna classe di valori. Un esempio è fornito in figura 4.16 per mostrare le escursioni giornaliere (cioè la differenza tra il valore massimo e il valore minimo) registrate in un ambiente espositivo nel corso di un anno.

I grafici a dispersione – *scatters plots* (fig. 4.17) permettono di visualizzare i *set* di dati di temperatura e di umidità relativa in uno spazio cartesiano in cui i punti sono individuati prendendo come ascissa i valori della variabile indipendente (ad esempio la temperatura) e come ordinata i simultanei valori della variabile dipendente (es. umidità relativa). Questa rappresentazione mostra come le grandezze sono relazionate tra di loro, cioè come una variabile cambi in funzione dell'altra e può costituire un valido supporto nella valutazione della qualità microclimatica degli ambienti di conservazione[64].

Gli andamenti stagionali[65] possono essere visualizzati attraverso un grafico a dispersione che metta in relazione i valori medi mensili registrati in esterno (in ascissa) con i corrispettivi all'interno dell'ambiente espositivo o di deposito (in ordinata): in questo modo, la risposta dell'ambiente interno in funzione della forzante esterna (calore e vapore) può essere indagata nel corso dell'anno, individuando eventuali variazioni stagionali. Un esempio è fornito in figura 4.18. I valori di temperatura (grafico a sn) sono mediamente più alti rispetto a quelli esterni a causa degli impianti di riscaldamento attivi durante i mesi invernali e dell'inerzia termica dell'edificio, che in autunno conserva parte del calore accumulato in estate. L'umidità specifica (grafico a dx) all'interno dell'edificio in esame dipende strettamente dal contenuto di vapore dell'aria esterna, con leggere deviazioni soltanto nei mesi più freddi in conseguenza del ridotto ricambio di aria attraverso le finestre. Le bisettrici rappresentano l'insieme dei punti per cui i valori interni di temperatura e di umidità specifica coincidono con i valori esterni, condizione per cui l'effetto dell'involucro edilizio potrebbe dunque essere considerato del tutto trascurabile.

Distribuzione spaziale delle variabili termoigrometriche L'analisi microclimatica può coinvolgere, accanto al monitoraggio in continuo, campagne di rilievo *spot*. La temperatura e l'umidità relativa, infatti, dovrebbero

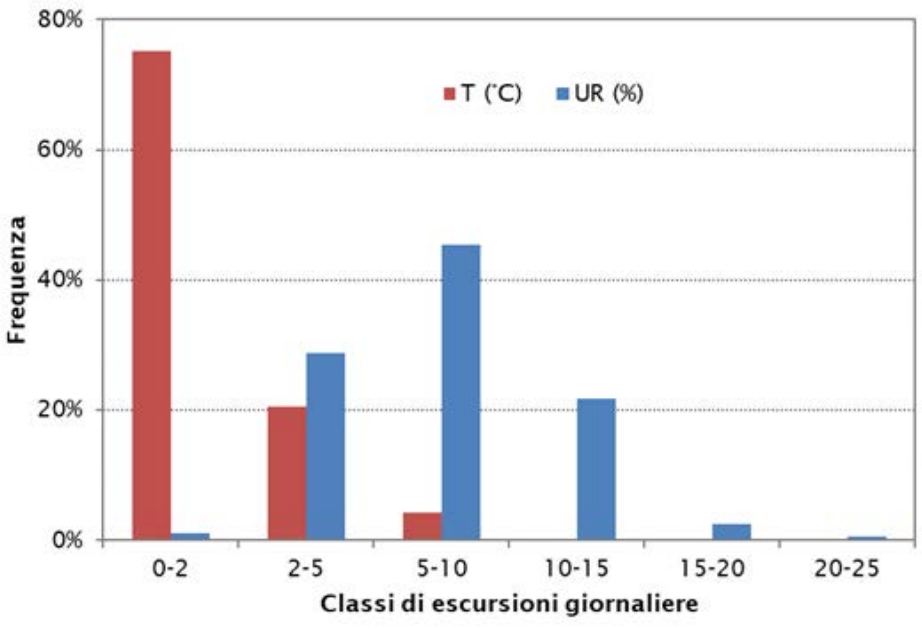


Fig. 4.16

Istogramma delle escursioni giornaliere di temperatura (T) e di umidità relativa (UR) dell'aria registrate nel corso di un anno. Le escursioni giornaliere sono calcolate come differenza tra il valore minimo e il valore massimo attestati nella medesima giornata

essere il più possibile uniformi nello spazio, sia nella stessa sala sia tra locali contigui. In un ambiente confinato, la distribuzione della temperatura e dell'umidità dipende da un complesso bilancio di energia e di vapore e la circolazione dell'aria è influenzata dalla presenza di aperture che permettono l'ingresso di masse d'aria dall'esterno[66]. Per quanto riguarda il profilo verticale della temperatura, un naturale aumento termico con la quota non è preoccupante, dal momento che in questo assetto la stratificazione dell'aria attenua eventuali turbolenze, riducendo altresì la deposizione aerodinamica del particolato sospeso. Al contrario, valori decrescenti di temperatura verso l'alto denotano l'innesco di celle convettive in grado di trasportare polveri e inquinanti, determinando il rischio che entrino in contatto con le opere oltre alla possibilità che l'attrito ne determini la progressiva erosione. Quando l'ambiente è eterogeneo le grandezze devono essere misurate in più punti, in accordo con un preciso disegno di campionamento[67].

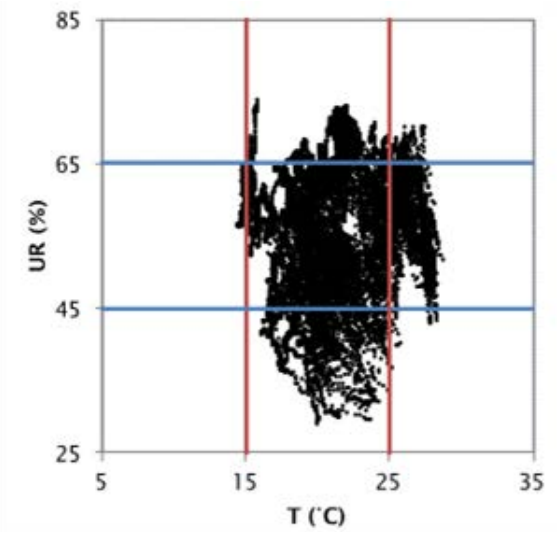


Fig. 4.17

Grafico a dispersione dei dati di temperatura (T) e di umidità relativa (UR) dell'aria registrati nel corso di un anno. Le linee verticali (in rosso) e orizzontali (in blu) rappresentano ipotetici valori soglia entro cui mantenere le condizioni ambientali

Le mappature spaziali, come suggerito nella norma UNI EN 16242:2013 sono utili per verificare l'omogeneità della distribuzione orizzontale delle grandezze fisiche all'interno dell'ambiente. La pianificazione del rilievo richiede la costruzione di un grigliato di punti di misura disposti a distanza regolare in maniera tale che l'area possa essere adeguatamente descritta nella sua variabilità. Il passo del grigliato, cioè la distanza tra i punti di misura, deve essere definito sulla base di un compromesso che tenga conto della grandezza dell'ambiente (scegliendo un numero di punti sufficiente a cogliere le possibili disomogeneità) e del tempo di campionamento, che dovrebbe essere il più breve possibile (per descrivere, dunque, un'"istantanea"

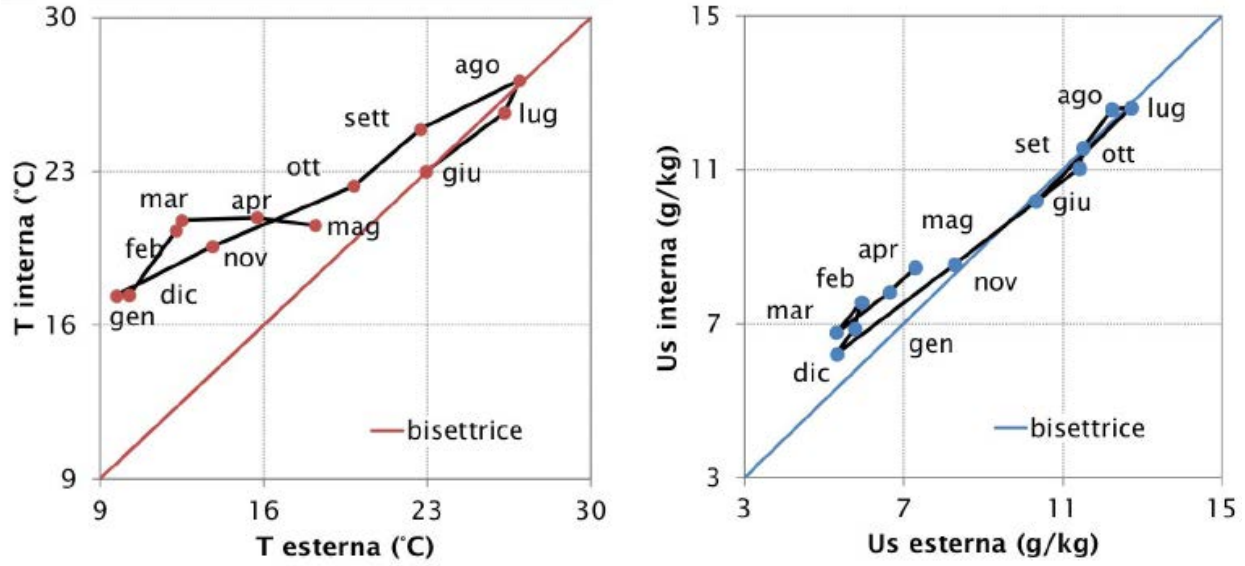


Fig. 4.18

Grafici degli andamenti stagionali di temperatura (T, a sn) e di umidità specifica (U_s, a dx) dell'aria. Ciascun punto è associato al valore medio mensile del parametro registrato all'esterno dell'edificio (in ascissa) e all'interno della sala/deposito (in ordinata)

della distribuzione nello spazio) e non dovrebbe mai superare l'ora complessiva (altrimenti le misure potrebbero risentire dell'evoluzione temporale dei parametri nel corso della giornata).

Sulla base dei valori misurati è possibile ricavare le linee passanti tra i nodi di uguale valore (dette isolinee); queste devono essere tracciate ad una distanza significativa, che tenga cioè conto dell'accuratezza strumentale. La visualizzazione della distribuzione dei parametri termoigrometrici nello spazio permette di individuare i gradienti orizzontali di temperatura e di umidità e di approfondire la comprensione delle dinamiche ambientali, tentando di risalire alle possibili cause fisiche che ne sono responsabili[68]. I risultati dell'indagine possono essere impiegati a supporto della scelta del numero e della collocazione degli strumenti di misura prima di predisporre il sistema di monitoraggio in continuo. In figura 4.19 viene mostrato un esempio delle distribuzioni spaziali di temperatura, umidità specifica e umidità relativa all'interno di un locale di deposito registrate nell'arco di tempo di circa un'ora. Nei grafici possono essere individuate facilmente le aree più fredde (in corrispondenza di un condizionatore d'aria sulla parete destra del locale – fig. 4.19 a), e le aree con contenuto di vapore leggermente inferiore rispetto al resto dell'ambiente (in corrispondenza di un'apertura verso l'esterno una finestra a circa metà della sala – 4.19b); da evidenziare, infine, la distribuzione dell'umidità relativa che ne risulta, la quale appare sostanzialmente omogenea (fig. 4.19 c).

4.5 Riferimenti normativi e linee guida sul microclima per la conservazione

L'analisi microclimatica permettendo di comprendere se l'ambiente risulta adatto alla conservazione dei beni[69], è diventata ormai imprescindibile per tutti gli archivi, le biblioteche e i musei che vogliano garantire alle proprie collezioni un'adeguata conservazione. Nel campo dei beni culturali, generalizzare quasi mai è possibile e si dovrebbero studiare per ogni singolo caso le condizioni più adeguate di temperatura e di umidità relativa da adottare in relazione alle esigenze specifiche. Questo approccio coinvolge un attento esame multidisciplinare e la collaborazione tra esperti conservatori, restauratori e ingegneri impiantisti ed è l'unica in grado di garantire delle strategie conservative da mettere in atto[70]. Sia il sistema di normazione nazionale sia gli apparati amministrativi al livello locale hanno recepito le indicazioni tecnico-scientifiche degli esperti, introducendo un approfondimento imprescindibile sulle condizioni ambientali dello spazio espositivo anche per quanto riguarda la stesura delle schede conservative e dei *facility report* per i prestiti.

Fissare per ogni oggetto precisi valori di soglia o intervalli ottimali dei parametri ambientali ai fini della conservazione non è possibile, in quanto ciascun manufatto risponde diversamente agli stimoli ambientali in virtù delle sue caratteristiche e della sua storia conservativa[71]. Le più recenti normative in materia di controllo ambientale, qualora non sussistano evidenti situazioni di deterioramento legato al microclima, stabiliscono di attenersi alle condizioni alle quali gli oggetti si sono adattati per lungo tempo: è preferibile, infatti, preservare l'integrità dei singoli oggetti nel loro contesto microclimatico storico d'origine, piuttosto che pianificare un astratto microclima standardizzato da applicarsi forzatamente[72]. L'avanzamento degli studi in questo campo ha portato alla definizione del microclima storico[73], basato sul concetto di fluttuazioni verificate[74], a cui gli oggetti si sono adattati nel corso

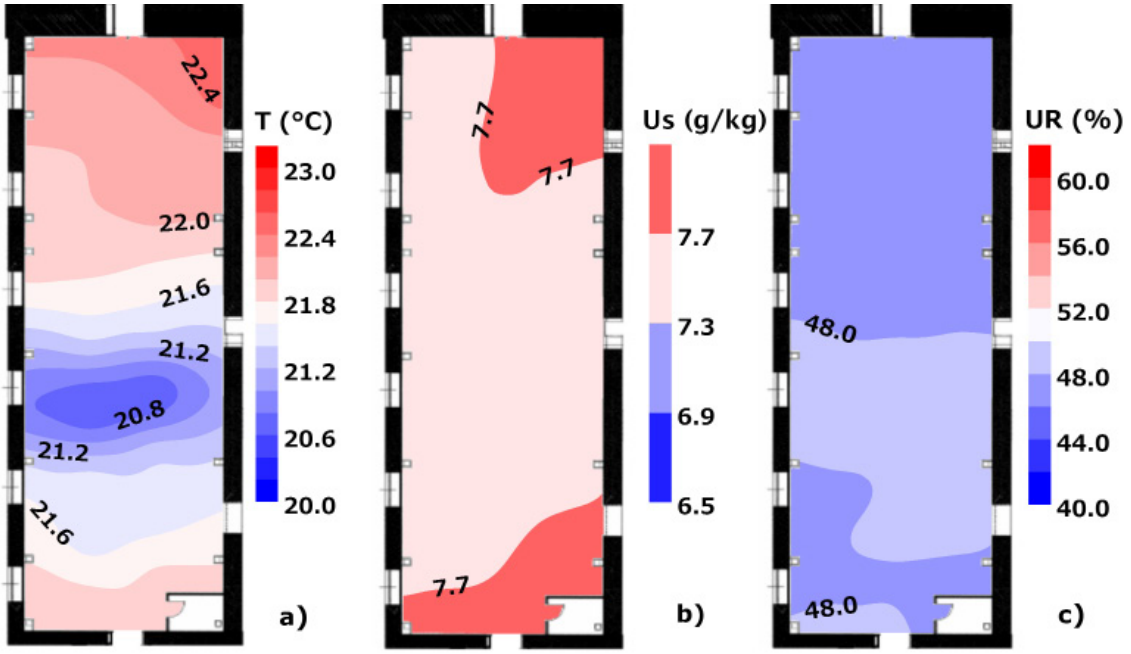


Fig. 4.19

Distribuzione spaziale dei tre parametri (T, U_s UR), rilevati all'interno di un locale di deposito

della loro storia conservativa.

In Italia, alcuni noti riferimenti normativi tuttora in vigore indicano intervalli consigliati entro cui mantenere i valori dei parametri microclimatici: la UNI 10586:1997 "Documentazione. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti", la UNI 10829:1999 "Condizioni ambientali di conservazione, misurazione ed analisi" cui deve essere aggiunto l'"Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei"[75]. Tuttavia, come finora esposto, sarebbe più opportuno valutare caso per caso la relazione esistente tra la "storia microclimatica" di ciascun oggetto e il suo stato di conservazione piuttosto che applicare acriticamente le condizioni raccomandate dalle norme.

Il Comitato Tecnico CEN/TC 346[76] per la conservazione del patrimonio culturale, istituito nel 2002, ha lo scopo di sviluppare norme europee per la standardizzazione della caratterizzazione dei materiali, dei processi e delle metodologie relativi alla diagnostica sui beni culturali tangibili, a supporto della loro conservazione, protezione e manutenzione. Il lavoro svolto dagli esperti in questi anni di collaborazione ha prodotto numerosi riferimenti normativi utili per impostare un corretto protocollo di misura ai fini della successiva elaborazione e interpretazione dei risultati. Lo sviluppo di standard europei va visto come una strategia a lungo termine per incrementare la qualità del processo conservativo ed espandere il corpo delle conoscenze sulla conservazione, promuovendo la cooperazione e la sinergia tra gli esperti di tutta Europa.

Gli standard approvati al livello europeo possono essere recepiti nei paesi membri su decisione autonoma dell'ente nazionale deputato alla normazione (es. UNI in Italia), integrando o sostituendo i precedenti riferimenti normativi. In Italia, le normative sono seguite su base volontaria[77] ma un professionista che abbia ignorato uno standard può essere accusato di negligenza ed essere sottoposto a procedimenti penali se dovesse rendersi responsabile di un danneggiamento nei confronti di un bene culturale.

Nello standard UNI EN 15757:2010 viene proposto al livello internazionale il già citato concetto di "clima storico", definito come l'insieme delle condi-

zioni climatiche di un ambiente in cui un oggetto culturale è stato mantenuto per un periodo di tempo di almeno un anno e al quale si è acclimatato. Queste condizioni includono i livelli medi di temperatura e di umidità relativa, l'intervallo di variabilità dei cicli (stagionali e giornalieri) e le velocità di cambiamento. La norma mira a ridurre l'incidenza di danni fisici causati da cicli tensione-deformazione in oggetti costituiti da materiale organico igroscopico, particolarmente vulnerabili alle condizioni microclimatiche in quanto in grado di scambiare facilmente vapore con l'ambiente circostante. Se le condizioni conservative degli oggetti sono ritenute soddisfacenti dagli esperti competenti (conservatori, restauratori), il clima storico non dovrebbe essere modificato a meno di miglioramenti atti a ridurre le fluttuazioni dei parametri ambientali.

Si ribadisce dunque l'importanza e la necessità di effettuare periodiche ispezioni delle collezioni: non sono rari i casi di materiali in buono stato di conservazione anche se sistemati per anni in condizioni teoricamente non ideali. In queste occasioni, la modifica delle condizioni ambientali sarebbe immotivata e potrebbe rivelarsi controproducente, poichè si sottoporrebbero gli oggetti ad uno stress non necessario. Soltanto quando la collezione o parte di essa presenta evidenti segni di degradazione, o manifesta alterazioni, è opportuno ragionare sulla possibilità di modificare gradualmente le condizioni attraverso una lenta acclimatazione, controllando, sia in questa fase delicata sia successivamente, che non si verifichino ulteriori danni. Le nuove condizioni di conservazione andranno studiate caso per caso sulla base delle esigenze conservative degli oggetti, dei meccanismi di deterioramento diagnosticati e delle condizioni consigliate in letteratura per la specifica classe di materiali.

Il clima storico è un importante riferimento anche quando si prevede la mobilitazione dei manufatti in occasione di restauri e/o eventi espositivi: in questi casi le condizioni a cui gli oggetti si sono acclimatati dovrebbero essere mantenute sia durante le fasi di trasporto sia durante l'immagazzinamento e/o l'esposizione[78]. Facendo riferimento allo standard UNI EN 15757:2010, la qualità di un ambiente viene giudicata non soltanto sulla base della frequenza con cui i valori puntuali assunti dai parametri termoigrometrici rientrano nell'intervallo specificato, ma anche sull'ampiezza e sulla frequenza delle variazioni a breve termine.

La ricostruzione del clima storico è basata sulla media mobile centrata su una finestra temporale di 30 giorni. Le variazioni a breve termine sono calcolate come differenza tra i valori misurati e la corrispondente media mobile mensile. Le bande di tollerabilità (fig. 4.20) sono ottenute sovrapponendo alla media mobile il limite inferiore e il limite superiore delle fluttuazioni, corrispondenti al 7imo e al 93esimo percentile della distribuzione delle fluttuazioni a breve termine. Nonostante sia stata pensata per una specifica categoria di materiali, le raccomandazioni riportate nella norma sono utili anche nel caso di oggetti di natura diversa, stabilendo un criterio per attestare quali siano le variazioni delle grandezze da considerare pericolose per la conservazione.

L'applicazione di questo standard è utile, nella pratica, in tutte le occasioni in cui i manufatti organici igroscopici si trovino nella necessità di essere sottoposti a condizioni microclimatiche diverse rispetto a quelle alle quali si sono acclimatati per lungo tempo (come, ad esempio, nel caso di mostre temporanee, prestiti e trasferimento dei beni in una nuova sede): in questi casi il clima storico dovrebbe essere conosciuto e rispettato nel nuovo ambiente di conservazione.

Alla luce di quanto illustrato, i valori indicati nelle norme sono dunque da intendersi soltanto come valori consigliati laddove sussista la necessità

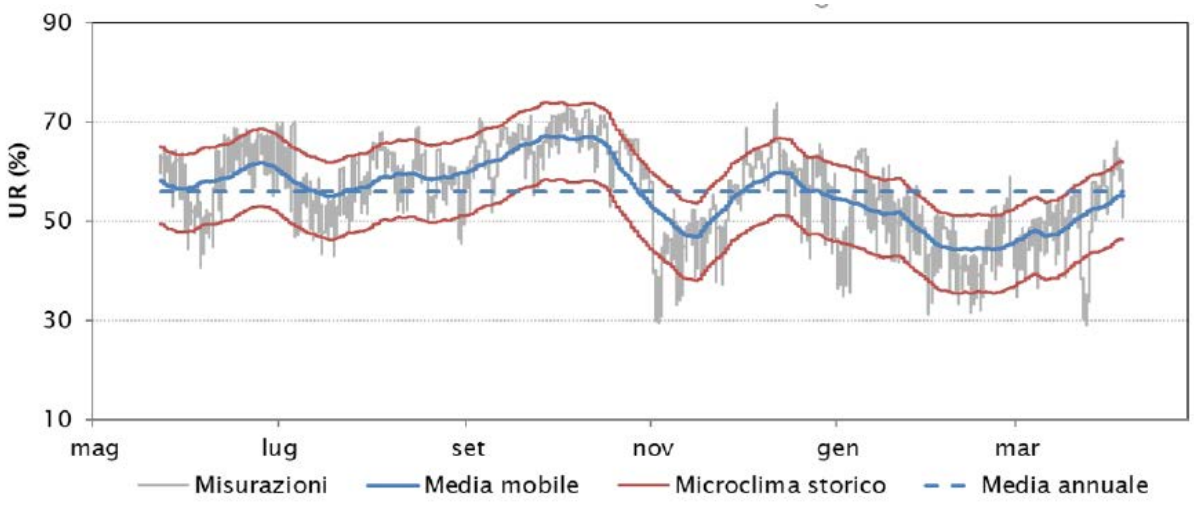
di modificare condizioni ambientali che sono causa di eventuali processi di deterioramento in atto.

Altri recenti standard europei di utilità per il conservatore sono le normative UNI EN 16893:2018 e UNI EN 15759-2:2018. La normativa UNI EN 16893:2018 "Conservazione del patrimonio culturale – Specifiche per la scelta del luogo, la costruzione e le modifiche di edifici o sale finalizzate al deposito o all'esposizione di collezioni del patrimonio culturale" costituisce una guida per la scelta del luogo, la costruzione e l'adattamento di edifici finalizzati al deposito permanente o all'esposizione temporanea di ogni tipo di collezione. Alcuni commi si riferiscono a rischi per la sicurezza, rischi ambientali, incendi, inondazioni e lotta agli infestanti – *pests* (artropodi e roditori – per la definizione di *pests* cfr. tab. 1.4), proponendo inoltre tabelle che riportano il rischio di danno e deterioramento causati da temperatura e umidità relativa. La normativa UNI EN 15759-2:2018 "Conservazione dei beni culturali – Clima interno – Parte 2: Gestione della ventilazione per la protezione degli edifici che appartengono al patrimonio culturale e delle collezioni" fornisce linee guida su come gestire la ventilazione per la protezione degli edifici che appartengono al patrimonio culturale e delle collezioni in questi contenute, a complemento delle altre norme a carattere generale sulla ventilazione finalizzate al *comfort* umano. Contiene, inoltre, le specifiche tecniche per le moderne strutture di stoccaggio per archivi e biblioteche con climatizzazione passiva.

In ambito mondiale, grande risonanza hanno avuto le linee guida proposte dall'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)[79]. Esse sono fondate sul concetto di fluttuazione verificata, proposte da Michalski (2007) per stabilire la soglia di variazione di UR di cui l'oggetto possa fare esperienza senza incorrere in danni meccanici. Se l'oggetto nel corso della sua storia conservativa, è stato esposto ad una forte escursione igrometrica senza riportare fratture (crettature) evidenti, è verosimile che la probabilità che intervenga il danno rimanga altrettanto bassa se le stesse condizioni dovessero verificarsi una seconda volta[80]. Le indicazioni fornite sono basate sul calcolo di una media mobile stagionale centrata su 91 giorni e propongono una suddivisione in classi di qualità ambientale in funzione degli andamenti stagionali e delle fluttuazioni a breve termine rispetto alla media mobile. I valori limite tollerati sono stabiliti aggiungendo e sottraendo alla media annuale le variazioni permesse al livello stagionale da ciascuna classe.

Fig. 4.20

Bande di tollerabilità (in rosso) stabilite sulla base del microclima storico. Il microclima storico è dedotto a partire dai valori di umidità relativa (UR) misurati nel corso di un intero anno solare. La media mobile è calcolata su una finestra di 30 giorni di dati (linea azzurra continua); la media annuale (linea azzurra tratteggiata) si riferisce al valore medio su tutte le osservazioni



Le classi ASHRAE (tab. 4.5) sono pensate come linee guida per la progettazione *ex novo* degli impianti di condizionamento e per ognuna sono descritti i rischi associati. Il tipo di controllo è associato alle varie classi suddivisibili in:

- AA, controllo di precisione, nessun adeguamento stagionale in termini di UR;
- A1, controllo di precisione, adeguamenti stagionali in termini di T e UR;
- A2, controllo di precisione, adeguamenti stagionali esclusivamente in termini di T;
- B, controllo limitato, adeguamenti stagionali di UR e ampi adeguamenti stagionali di T;
- C, prevenzione da condizioni estreme di umidità (troppo alta o troppo bassa) e da temperature troppo alte;
- D, prevenzione esclusivamente da valori troppo alti di umidità.

Il confronto delle condizioni microclimatiche misurate in un ambiente con questo tipo di classificazione permette di valutarne, anche a posteriori, la qualità[81]. L'attribuzione è valida soltanto quando le osservazioni verifichino i requisiti nel 100% dei casi, in quanto qualunque valore trovato al di fuori della banda di riferimento potrebbe causare potenzialmente i danni associati ad una classe di qualità inferiore. Bratasz (2012) individua nella classe B quella cui attenersi nei musei per non causare danni meccanici sugli oggetti, basandosi sull'evidenza sperimentale che variazioni contenute in un intervallo di umidità relativa pari a 50±15% sono sicure per la conservazione. Queste condizioni sono spesso l'unica strategia di controllo microclimatico a costi moderati che sia disponibile per gli edifici storici, poiché essi dispongono di un limitato potenziale per poter installare un sistema più restrittivo[82].

Nell'ultima versione pubblicata delle linee guida ASHRAE (2019) è stato meritoriamente proposto un approccio alla valutazione dei rischi per le collezioni basato sull'analisi dei principali meccanismi di deterioramento (attraverso l'uso di specifiche funzioni di danno). Una particolare attenzione è, inoltre, dedicata alla sostenibilità energetica dei sistemi di controllo del microclima, alla luce della zona climatica cui è associata il sito in virtù della sua posizione geografica.

Un altro riferimento internazionale da tenere in considerazione è la normativa ISO 11799:2015 "Information and documentation – Document storage requirements for archive and library materials" la quale specifica le caratteristiche dei locali utilizzati per il deposito a lungo termine dei materiali archivistici e librari, fornendo indicazioni sul posizionamento, la costruzione e il rinnovamento dell'edificio e l'installazione degli impianti necessari. A differenza dalla precedente ISO 11799:2003, che sostituisce, contiene informazioni di carattere generale sulle condizioni climatiche di conservazione e linee guida sulla gestione dei rischi connessi agli interventi sugli ambienti conservativi.

La ISO/TR 19815:2018 "Information and documentation – Management of the environmental conditions for archive and library collections", basata sullo standard inglese BSI/PAS 198 "Specification for managing environmental conditions for cultural collections", è pensata specificamente per archivi e biblioteche e la sua applicazione estendibile anche a condizioni climatiche diverse da quelle temperate. Questo documento tiene conto della rapida evoluzione del settore e ribadisce che variazioni di temperatura e di umidità relativa su base giornaliera e stagionale sono generalmente accettate laddove si possano escludere rischi per la conservazione delle collezioni. A questo proposito,

Tabella 4.5 – Specifiche di temperatura e umidità relativa per collezioni in archivi, biblioteche e musei (estratto tradotto e rielaborato dalle linee guida ASHRAE 2019).

CLASSI DI CONTROLLO	LIMITI A LUNGO TERMINE[1]	VALORI MEDI ANNUALI (MA)	ADEGUAMENTI STAGIONALI RISPETTO A MA[2]	FLUTTUAZIONI A BREVE TERMINE[3]	BENEFICI E RISCHI PER LE COLLEZIONI[4]
AA*	35%≤UR≤65% 10°C≤T≤25°C	Collezioni permanenti: media annuale di T e UR.	Nessun adeguamento per UR. T: MA±5°C	UR: MA±5% T: MA±2°C	Nessun rischio di danno meccanico per la maggior parte dei manufatti.
A1*	35%≤UR≤65% 10°C≤T≤25°C		UR: MA±10% T: MA+5°C e MA–10°C	UR: MA±5% T: MA±2°C	Nessun rischio di deterioramento meccanico per la maggior parte delle fotografie e lieve rischio per manufatti altamente vulnerabili.
A2*	35%≤UR≤65% 10°C≤T≤25°C		Nessun adeguamento per UR. T: MA+5°C e MA –10°C	UR: MA±10% T: MA±2°C	
B**	30%≤UR≤70% T≤30°C	Collezioni permanenti: media annuale di T e UR.	UR: MA±10% T: MA+10°C e MA –20°C	UR: MA±10% T: MA±5°C	Lieve rischio di deterioramento meccanico per la maggior parte delle fotografie e rischio moderato per manufatti altamente vulnerabili.
C**	25%≤UR≤75% T≤40°C	Annualmente 25%≤UR≤75% e T<25°C		UR>65% per periodi non prolungati. T raramente >30°C.	
D***	UR≤75%	UR sempre <75%		UR>65% per periodi non prolungati.	Prevenzione da eccessiva umidità. Rischio elevato di deterioramento meccanico per la maggior parte dei manufatti quando UR è molto bassa.

* Musei, gallerie, archivi e biblioteche in edifici moderni costruiti *ad hoc*.
** Musei, gallerie, archivi e biblioteche che intendono ridurre lo stress sull'edificio (e.g., musei in edifici storici), in funzione della zona climatica.
*** Collezioni in edifici con struttura aperta ed edifici storici.
[1] Da applicare in combinazione con i valori medi annuali e gli adeguamenti stagionali.
[2] La velocità di adeguamento non dovrebbe superare i limiti indicati per le fluttuazioni a breve termine.
[3] Si intendono tutte le variazioni più brevi di 30 giorni per UR e 7 giorni per T.
[4] Rischio significativo per i materiali chimicamente instabili oltre i 20°C (decadimento entro decenni a 20°C, raddoppiato per ogni incremento di 5°C).

fornisce ulteriore supporto alle novità nella ricerca che hanno condotto alla recente revisione della ISO 11799. Viene rimarcata l'attenzione alla riduzione dei consumi energetici e alla sostenibilità ambientale, indicando la preferenza — dove possibile — di soluzioni passive di condizionamento del microclima. Considerata l'eterogeneità delle collezioni archivistiche e bibliotecarie — tra cui include le fotografie — pone infine l'attenzione su un'adeguata considerazione della loro diversa vulnerabilità e, di conseguenza, sulle spesso contrastanti esigenze conservative dei vari materiali. A conclusione sono riportati

alcuni esempi di buone pratiche di sostenibilità: dall'Archivio dell'Istituto Arnamagnæan di Copenhagen agli Archivi Imperiali del Giappone a Tokyo.

Numerose ricerche, nel tempo, sono state finalizzate a definire gli ambiti di temperatura e umidità relativa ottimali per la conservazione a lungo termine delle fotografie[83] (intendendo per conservazione a lungo termine un tempo indefinito). Anche nel caso delle collezioni fotografiche, non sempre è possibile stabilire condizioni termoigrometriche ottimali per la conservazione, per cui si dovrebbe sempre valutare ogni situazione caso per caso. In tabella 4.6 si riportano le condizioni termoigrometriche consigliate dagli standard internazionali per le principali categorie di fotografie bianco e nero e a colori.

Tabella 4.6 – Temperature massime e intervalli di umidità relativa per la conservazione a lungo termine di fotografie b/n e a colori[84] (cfr. tab. 12.5).

PROCESSI B/N	T max (°C)*	UR (%)*
Dagherrotipi, lastre ambrotipiche e ferrotipiche, lastre di vetro alla gelatina, **all'albumina**, **al collodio a secco e a umido**, **lastre a colori *screen* e lastre per lanterna** (ISO 18918:2011)	18	30–40
Stampe ad immagine argentica b/n, ***silver dye bleach, dye/silver diffusion transfer***, ***dye imbibition*****, processi ai pigmenti**, **diazo, elettrofotografici** (ISO 18920:2011)	16	30–50
Pellicole in poliestere: processo argento-gelatina b/n (ISO 18901:2010), **processo termico** (ISO 18919:1999), **processo vescicolare** (ISO 18912:2002)	21	20–50
Pellicole in esteri di cellulosa b/n (triacetato, acetato butirrato e acetato propionato di cellulosa o loro miscela) (ISO 18901:2010)	7 5 2	20–30 20–40 20–50
Pellicole in nitrato di cellulosa** (ISO 18911:2010)	2	20–50
Pellicole in poliestere diazo (ISO 18911:2010 e ISO 18905:2002)	2	20–30
PROCESSI A COLORI	**T max (°C)**	**UR (%)**
Stampe a sviluppo cromogeno (ISO 18920:2011)	2 5	30–50 30–40
Pellicole in esteri di cellulosa cromogeniche (triacetato, acetato butirrato e acetato propionato di cellulosa o loro miscela) (ISO 18911:2010)	−10 −3	20–50 20–40
Pellicole in poliestere *silver dye bleach* (Cibachrome – *dye destruction* a bianchimento di coloranti) (ISO 18911:2010)	21	20–50

Per conservazione a medio termine si intende invece un tempo minimo di 10 anni come indicato in ISO 18920:2011.
* Si rammenta che all'interno degli intervalli di umidità relativa e di temperatura riportati nella tabella, il valore stabilito potrà subire solo oscillazioni molto ristrette: ±2°C di T e ±5% di UR per un periodo di 24 h.
** La norma ISO 18911:2010 non comprende il nitrato, consiglia però di includere tale materiale e di trattarlo ugualmente.

Per confronto si citano anche i valori termoigrometrici ottimali di conservazione dettati dall'Atto di Indirizzo (2001): T = −5/+15°C e UR = 30–50% per film (in funzione della sensibilità delle pellicole) e T = 2–20°C e UR = 20–30% per fotografie b/n. Per questa seconda categoria si specifica che l'intervallo è valido per fotografie con supporti in carta, materiale plastico, vetro. Per supporti a base di nitrato e per lastre di vetro con emulsione al collodio sono consigliate temperature più basse.

Oltre a tale documento, di riferimento è la norma UNI 10829:1999, ancora valida, che riporta, invece, per film e fotografie b/n e colore un *range* di T = 0–15°C e di UR 30–45%.

Le stampe digitali, evolutesi negli ultimi quarant'anni e che sono state e sono oggetto di studio (come quello portato avanti dall'Image Permanence Institute[85]), presentano problematiche conservative al pari delle stampe tradizionali[86], registrando per alcune tipologie vulnerabili anche problematiche più gravi. La loro stabilità dipende dalle proprietà intrinseche dei materiali (pigmenti, coloranti, supporti, finiture) e naturalmente dalle condizioni microclimatiche di conservazione[87].

In generale, stampe elettrofotografiche e *inkjet* ai pigmenti sono meno sensibili alle alte temperature e all'umidità rispetto a quelle formate da coloranti; in condizioni di elevata umidità le *inkjet*, composte da coloranti su carta patinata, possono presentare sbiadimenti a causa della diffusione degli stessi[88]. L'uso di supporti di carta non permanenti o di carta non ottimizzata a ricevere il particolare *set* di inchiostri, può influire negativamente sulla stabilità generale; in questo caso, si richiede una conservazione alle basse temperature.

In merito a queste tipologie di materiale, l'International Organization for Standardization ha rivisto la ISO 18920 del 2000 che riuniva i processi digitali in un'unica categoria, indipendentemente dal supporto, consigliando una temperatura massima per archiviazione a lungo termine di −3°C e una umidità relativa del 30–50%. I valori indicati dalla ISO 18920:2011 sono riportati in tabella 4.7.

Tabella 4.7 – Temperature massime e intervalli di umidità relativa per la conservazione a lungo termine di stampe digitali.

PROCESSI DI STAMPA DIGITALE	T max (°C)*	UR (%)*
Stampe elettrofotografiche (EP)**	16	30–50
Stampe termiche o *thermal dye transfer* o *dye sublimation****	2 5	30–50 30–40
Stampe *inkjet* (coloranti o pigmenti)******	2 5	30–50 30–40

* All'interno degli intervalli di UR e di T si può avere una variazione max giornaliera di ±2°C di T e ±5% di UR.
** Processo che agisce tramite forze elettrostatiche. Le stampe sono costituite principalmente da particelle di *carbon black* (nerofumo) per il b/n e da pigmenti per il colore (es. fotocopie in b/n e a colori, stampe laser in b/n e a colori, stampe xerox).
*** Tecnologia che sfrutta il calore per diffusione/trasferimento dei coloranti.
**** Tecnologia di stampa largamente diffusa nel mercato può essere ottenuta mediante getto continuo. Viene molto usata nei processi di stampa industriale e o mediante *impulse jet* (DOD *drop on demand*) e cioè solo su richiesta. Gli inchiostri utilizzati per il getto continuo sono a base di colorante e di acqua oppure al metiletilchetone.

Le temperature massime raccomandate per la conservazione dei processi più noti di stampe digitali, basate sui dati dell'IPI – DP3 Project[89], si attestano a 4°C per le stampe *inkjet* (coloranti e pigmenti), a 20°C per le elettrofotografiche e a 20°C per le stampe a trasferimento termico a diffusione di coloranti. Per quanto riguarda invece l'intervallo di umidità relativa si consiglia un intervallo di 30–50%, in linea con la normativa prima citata.

Come si può ricavare dalle tabelle mostrate, per alcune tipologie di materiali fotografici (alcune fotografie a colori e alcuni supporti in materiale plastico) sono consigliate basse o bassissime temperature: (vedi Capitolo 12). Per tutti questi materiali una conservazione "al freddo" riveste una importanza basilare. Del resto era già stato evidenziato negli anni Cinquanta e confermato negli anni Settanta che questa modalità di archiviazione garantiva notevoli benefici per la conservazione delle collezioni fotografiche[90]. Gli effetti benefici di una conservazione a basse temperature possono essere ad ogni modo compromessi quando i materiali vengono movimentati dall'ambiente conservativo e portati in locali con temperature più elevate.

Facendo uso di un approccio suggerito per la prima volta da Mark McCormick-Goodhart[91], ricercatore presso il Laboratorio analitico di conservazione dello Smithsonian Institution di Washington D.C., che ha definito il modello "Time Out of Storage", si può comprendere come venga influenzata l'aspettativa di vita di un materiale conservato in un ambiente a bassa temperatura.

Prendendo ad esempio la degradazione di alcune tipologie di pellicole fotografiche, si può vedere che alte temperature e alti livelli di umidità relativa accelerano il deterioramento, in quanto facilitano le reazioni dell'argento dell'immagine con sostanze chimiche ossidanti. La vita utile di un supporto plastico può essere aumentata abbassando la temperatura di conservazione: una temperatura inferiore può compensare un'umidità relativa più alta. Comportamenti simili riguardano anche la degradazione dei supporti in poliestere e i tassi di sbiadimento delle stampe a sviluppo cromogeno. Queste relazioni consentono di accettare diverse combinazioni di temperatura e di umidità relativa per condizioni di conservazione a lungo termine, come specificato in tabella. Il modello elaborato da McCormick-Goodhart offre a chi progetta un deposito di archiviazione una gamma di opzioni da vagliare.

Ad esempio se una pellicola in acetato di cellulosa, che necessita di basse o bassissime temperature (cfr. tab. 4.6) per una conservazione a lungo termine, subisce una movimentazione, gli effetti possono essere importanti e l'aspettativa di vita può risultare significativamente ridotta. Ciò semplicemente rimuovendo la pellicola dal deposito dedicato e portandola in un locale adibito ad esempio ad ufficio, per una media di 30 giorni all'anno.

Per quanto detto, è bene dunque tenere a mente che brevi e lunghi periodi di tempo al di fuori dell'ambiente prestabilito potrebbero mettere a rischio l'efficacia delle misure conservative intraprese. Questa caratteristica è ben evidenziabile in tabella 4.8, riportata in "IPI Storage Guide for Acetate Film" redatto da James M. Reilly (1993)[92], ove vengono prese in considerazione diverse combinazioni di temperatura e umidità per la conservazione delle pellicole in acetato e mostrati gli effetti del *time out of storage*, cioè dei tempi di pausa dovuti all'interruzione di un'archiviazione impostata a precisi e continuativi valori di umidità relativa e temperatura.

Il tempo si basa sul numero approssimativo di anni fino al raggiungimento del valore 0,5 di acidità libera da parte della pellicola in triacetato, indice dell'inizio della degradazione (punto in cui si iniziano a verificare cambiamenti quali instabilità e infragilimenti tali da rendere il materiale inutilizzabile).

Tabella 4.8 – *Time out* della conservazione (modificata da: IPI, 1993).

CONDIZIONI DI CONSERVAZIONE*		Nº MEDIO DI GIORNI/ANNO** (archiviazione a 24ºC e 60% UR)						
T (ºC)	UR (%)	0	1	5	10	30	90	120
		Tempo in anni per raggiungere 0,5 di acidità***						
21	20	90	90	80	80	70	50	40
	40	50	50	50	50	45	35	35
	60	30	30	30	30	30	25	25
16	20	175	175	175	150	100	60	50
	40	100	100	100	90	80	50	45
	60	60	60	60	60	50	40	35
10	20	400	350	300	250	150	70	60
	40	200	200	200	175	125	70	50
	60	125	125	100	100	90	60	50
4	20	800	800	500	400	200	80	60
	40	450	400	350	300	175	70	60
	60	250	250	200	200	125	70	60
-1	20	2000	1500	900	600	250	80	60
	40	1000	900	600	450	200	80	60
	60	500	500	400	300	175	80	60
-9	20	>3500	3500	1250	700	250	80	60
	40	3500	2500	1000	600	250	80	60
	60	1750	1500	800	500	250	80	60
-18	20	>>3500	>3500	1500	700	250	80	60
	40	>>3500	>3500	1500	700	250	80	60
	60	>3500	3500	1250	700	250	80	60

* Si tratta delle condizioni di archiviazione primaria.
** Giorni che il materiale potrebbe passare fuori dall'ambiente primario dedicato, a condizioni quindi definite per una archiviazione a lungo termine (es. 20ºC ca. e 60% UR). Le previsioni mostrano gli effetti combinati dell'archiviazione in cui una parte del tempo è avvenuta in condizioni ideali e, una parte, nelle condizioni di un tipico ambiente-ufficio.
*** Il segno > indica "maggiore di", mentre il segno >> indica "molto maggiore di".

Se si considera ad esempio un ambiente a 4ºC e 40% di UR si può dedurre che se il materiale è sempre stato archiviato in tale locale, il tempo previsto prima dell'inizio della comparsa dell'acidità, sintomo primario della nota "sindrome dell'aceto" (degradazione che affligge questa tipologia di pellicola – vedi Capitolo 12), dovrebbe essere di 450 anni. Il numero previsto di anni scende bruscamente, attraverso vari stadi, man mano che aumenta il numero medio di giorni/anno passati fuori dall'ambiente consueto. Già dopo soltanto 30 giorni di archiviazione/consultazione alle condizioni di 24ºC e 60% di UR la durata prevista si riduce a soli 175 anni. Se la pellicola è portata al di fuori del suo ambiente di conservazione a 4ºC e 40% di UR per 120 giorni all'anno (pari a circa 4 mesi), il tempo previsto di vita è di soli 60 anni, cioè il 13% circa dell'aspettativa che avrebbe avuto se non avesse mai lasciato l'ambiente iniziale. Più lungo quindi è il tempo trascorso fuori dal locale ideale, maggiore è la condizione di "scia" nel determinare l'aspettativa di vita complessiva della pellicola. Si noti che dopo 120 giorni di lontananza dalle condizioni consigliate si ha poco o nessun vantaggio dall'avere una pellicola conservata ad una temperatura inferiore.

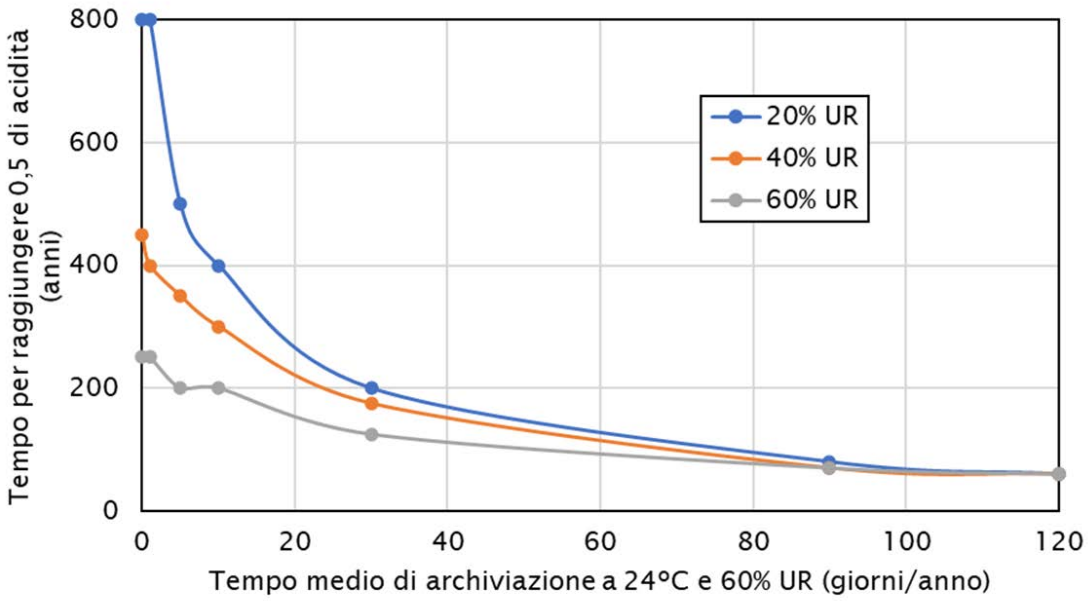


Fig. 4.21

Tempo di pausa espresso in anni per il raggiungimento di 0,5 di acidità libera da parte di una pellicola in acetato di cellulosa conservata a 24°C e 60% UR

In figura 4.21 viene mostrato un grafico (in relazione alla tab. 4.8) che evidenzia il tempo di pausa (espresso in anni) relativo a T = 4°C in cui è possibile visualizzare le differenze tra i diversi livelli di umidità relativa e il progressivo annullamento dell'effetto benefico delle basse temperature all'aumentare dei giorni di archiviazione a 24°C/60% UR.

Questi modelli di relazione tra temperatura e umidità relativa correlati all'aspettativa di vita dei materiali sono indicati anche nelle due norme ISO, in vigore, dedicate alla conservazione di stampe e pellicole: ISO 18920:2011 e ISO 18911:2010.

4.6 Determinazione del contenuto di acqua nei materiali

Al fine di constatare l'effettivo quantitativo di acqua presente all'interno dei materiali, al monitoraggio termoigrometrico possono essere affiancate misure del contenuto igroscopico. In laboratorio, la valutazione quantitativa del contenuto di umidità totale si effettua secondo normative standard su campionature prelevate e trattate secondo il dettato della norma applicata. I risultati ottenuti conformi alle norme tecniche sono rappresentativi e accettati in contesti scientifici. La determinazione del contenuto di umidità negli originali (documenti grafici e fotografici, libri) viene in genere eseguita con strumentazioni portatili concepite per misurazioni di superficie con sonde a contatto di tipo non invasivo. Le misure si effettuano in tempi ragionevolmente rapidi senza necessità di spostare i materiali dalle loro collocazioni abituali, cioè nelle condizioni reali di deposito, espositive, di uso, nelle ubicazioni più critiche (es. in prossimità di pareti esterne o interrate oppure orientate a nord) e in tutti i casi in cui si sospetti presenza di umidità indesiderata per infiltrazione, condensazione o risalita capillare (sottotetti, soffitti, pavimenti, in corrispondenza di tubazioni di impianti termici o di adduzione o di scarico di acqua ecc.).

Gli strumenti disponibili sono in genere dotati di sensori in grado di rilevare le variazioni di conducibilità dei substrati al modificarsi del contenuto

d'acqua. Nati per le esigenze legate al settore dei materiali da costruzione (legno e murature), al campo alimentare e farmaceutico e all'industria cartaria e conciaria, a condizione di un'opportuna calibrazione possiedono una buona accuratezza e praticità di utilizzo anche per gli scopi propri della conservazione dei beni culturali.

Ai primi igrometri di tipo analogico (ancora in uso in diverse realtà archivistiche e librarie) sono seguite apparecchiature digitali e strumenti registratori concepiti per rilevare contemporaneamente anche temperatura e umidità relativa ambientali. I valori misurati sono espressi in percentuale di acqua rispetto al peso secco del materiale. Esistono vari modelli di igrometri dotati di polinomi di calibrazione specifici per carta, cuoio e pelli, tessili, legno, pareti, pavimenti, rivestimenti, ecc. da scegliere secondo l'applicazione che si desidera. Questi strumenti dispongono spesso di sonde intercambiabili aventi forme e dimensioni confacenti alla misura da effettuare e alla geometria dell'oggetto. Le sonde più utilizzate per la determinazione di umidità sulla superficie di documenti o all'interno di volumi e album (carta, legno, pelle, cuoio) sono quelle a spada, a lamelle o a timbro, mentre per la diagnostica edile si utilizzano, secondo le esigenze e la profondità della misura da effettuare, sonde ad infissione, a contatto e a radiofrequenza (per misurazioni sotto lo strato superficiale).

Lo sviluppo di standard per le misure di contenuto di umidità nei materiali costituenti i beni culturali non è di semplice realizzazione, in quanto gran parte delle metologie sviluppate per fini industriali e commerciali sono incompatibili con le esigenze di non invasività e non distruttività richieste nel campo della conservazione. Molte di queste tecniche, inoltre, si basano su unità arbitrarie e metodi di misura indiretti, la cui calibrazione può essere estremamente difficoltosa da un punto di vista tecnico (ad esempio per via del deterioramento dei materiali o per la presenza di inquinanti e/o microrganismi). Un articolo esaustivo su questo argomento è stato redatto da Camuffo e Bertolin (2012)[93].

Alcune raccomandazioni utili in proposito sono contenute nello standard UNI EN 16682:2017 "Conservazione del patrimonio culturale – Metodi per la misurazione del contenuto igrometrico, o dell'acqua contenuto nei materiali costituenti i beni immobili del patrimonio culturale" che indica in generale come il contenuto igrometrico può essere misurato direttamente o indirettamente, facendo distinzione tra metodologie implicanti il contatto o meno e quando queste si possano considerare accettabili.

In genere vengono considerati a rischio biologico contenuti di umidità superiori al 10% in carta e cartoni e al 15% in cuoio e pergamena[94]. Come precedentemente introdotto infatti, in un materiale igroscopico l'assorbimento di molecole d'acqua genera condizioni di *habitat* favorevoli ad uno sviluppo microbico, induce una degradazione idrolitica nella catena della cellulosa e in altri materiali predispone a variazioni dimensionali che potranno portare a deformazioni irreversibili o a fratture.

Nelle fotografie in particolare le misure per contatto dovrebbero essere evitate o effettuate con grandissima prudenza per scongiurare il rischio di danneggiare le delicatissime superfici. Per materiali posti in custodie, montaggi, album, cartelle o altri supporti igroscopici le misure possono essere eseguite, in alternativa, direttamente sui supporti (primario e secondario) o su involucri e contenitori direttamente a contatto: qualora il contenuto d'acqua risultasse elevato o superiore ai limiti di sicurezza, anche le fotografie in essi contenute saranno da ritenere a rischio.

4.7 Sostenibilità energetica nel controllo del microclima

Le strategie di controllo microclimatico volte ad assicurare condizioni termoigrometriche idonee per la conservazione devono essere attentamente valutate anche dal punto di vista economico, energetico e ambientale[95]. In un ambiente confinato, infatti, la regolazione degli impianti di condizionamento dell'aria può comportare notevoli incrementi del fabbisogno energetico. Negli ultimi anni è stata rimarcata in maniera sempre più decisa l'urgenza di modificare l'utilizzo intensivo dei moderni impianti per il condizionamento attivo nei musei nella direzione della sostenibilità energetica[96], come indicato dalle recenti direttive europee (dotate di efficacia vincolante): Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, Direttiva 2010/31/UE e Direttiva 2012/27/UE[97].

Il problema è sentito oggi più che mai, in quanto i cambiamenti climatici futuri ci pongono di fronte alla necessità di scegliere fin da ora quali siano i mezzi più opportuni da mettere in campo per fronteggiarne il possibile impatto. Le attività umane hanno causato un riscaldamento globale di circa 1°C rispetto all'era pre-industriale e si prevede che questo livello aumenterà fino a 1,5°C tra il 2020 e il 2050, come dichiarato dal "The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC–Report" (Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico), principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici. Al fine di evitare conseguenze catastrofiche, dovrebbero quindi essere messe in campo misure incisive in grado di mantenere il riscaldamento globale al di sotto di questo valore.

Gli interventi migliorativi sull'ambiente dovrebbero mettere a fattor comune sia le esigenze conservative delle collezioni sia la necessità di un'architettura sostenibile che vada nella direzione della riduzione dell'inquinamento e del consumo delle risorse in generale (vedi § 3.4). In particolare nel caso di edifici storici, ove è importante cercare di stabilire un rapporto vantaggioso tra sostenibilità e compatibilità, bisognerebbe mediare tra i requisiti energetici e le valenze storiche ed estetiche degli edifici stessi[98].

La norma europea UNI EN 16883:2017 "Conservazione dei beni culturali – Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici" fornisce linee guida per il miglioramento sostenibile della prestazione energetica degli edifici storici, come edifici notevoli dal punto di vista storico, architettonico o culturale, nel rispetto del loro significato di bene culturale. La norma ha lo scopo di dettare una procedura di lavoro per la scelta degli interventi di *retrofit* basata sull'investigazione, sull'analisi e sulla documentazione dell'edificio. Le classi di controllo climatico proposte dall'ASHRAE richiedono consumi di energia proporzionali al grado di controllo al quale sono associate. Per ottenere i requisiti richiesti dalla classe AA sarebbe necessaria la realizzazione di un impianto in grado di controllare puntualmente temperatura e umidità[99]. Le classi che seguono concedono progressivamente una maggiore tolleranza, permettendo dunque un minore fabbisogno energetico e un impatto ambientale più sostenibile (vedi § 4.5).

Per ridurre la variabilità degli andamenti temporali e la presenza di gradienti spaziali dei parametri termoigrometrici, andrebbero vagliate prioritariamente soluzioni passive. Tra le misure passive frequentemente utilizzate per il *retrofit* (miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici), vi sono:

- l'isolamento termico;
- l'utilizzo di materiali e di strutture dotati di alta inerzia termica e igrometrica;

- la riduzione degli scambi incontrollati di calore e vapore;
- il filtraggio della radiazione solare;
- la sostituzione delle sorgenti luminose con lampade a basso consumo (vedi § 5.6).

In seconda istanza, dopo aver escluso la possibilità di fare affidamento su misure passive, si dovrebbe procedere con un'attenta valutazione delle diverse soluzioni impiantistiche, in linea con quanto indicato dalla Commissione Europea. Tra le soluzioni attive è bene prediligere quelle che siano sostenibili dal punto di vista dell'impatto ambientale e delle prestazioni energetiche, le quali sfruttano di solito le tecnologie di gestione e di uso dell'edificio, mirando all'efficienza e al risparmio energetico, attraverso l'impiego di fonti rinnovabili.

4.8 La simulazione dinamica: strumento di conservazione preventiva

In virtù della versatilità e delle vaste potenzialità di utilizzo, la simulazione dinamica è sfruttata sempre più di frequente come strumento di conservazione preventiva. Consentendo di studiare efficacemente soluzioni sostenibili per il *retrofit* degli ambienti e l'efficientamento energetico, risulta infatti di grande utilità nel caso di edifici storici in cui gli interventi di riqualificazione sono limitati per via del loro intrinseco valore culturale[100].

Esattamente la simulazione dinamica è uno strumento di previsione delle condizioni microclimatiche interne agli edifici basato sulla modellazione degli ambienti. Il modello virtuale di un edificio è realizzato partendo dalle planimetrie e dalla sua localizzazione geografica e procedendo all'introduzione di informazioni necessarie per descrivere la sua interazione con l'ambiente esterno e tra i singoli sotto-ambienti che lo compongono (es. i vari livelli e le stanze). Le principali variabili richieste dai programmi di simulazione includono la stratigrafia dell'involucro edilizio (cioè la sequenza di materiali impiegati per le pareti esterne e i relativi spessori), la ventilazione (data dal tasso di ricambio dell'aria e dalle infiltrazioni) e gli ombreggiamenti dovuti alla vicinanza e all'altezza degli edifici circostanti. Sulla base della localizzazione geografica è possibile disporre di dati climatici esterni medi oppure di includere, laddove disponibili, i dati misurati in prossimità dell'edificio. Una volta realizzato il modello completo, è possibile ottenere la simulazione delle condizioni interne sulla base dell'assetto attuale dell'edificio. A questo punto è fondamentale procedere con la calibrazione del modello attraverso il confronto dei risultati della simulazione con i dati microclimatici misurati in interno: soltanto in questo modo, il modello potrà essere considerato attendibile dal punto di vista scientifico. Il modello virtuale così ottenuto può essere infine utilizzato sia per studiare le attuali dinamiche dell'ambiente interno che per spingere le valutazioni ambientali, sia dal punto di vista temporale (ipotizzando, ad esempio, variazioni del clima esterno sulla base del cambiamento climatico atteso) che dal punto di vista dell'assetto dell'edificio. Tali considerazioni consentiranno di progettare possibili interventi di *retrofit* sia passivi che attivi.

Le prime applicazioni della simulazione dinamica hanno riguardato il *comfort* termico e l'efficienza energetica, in ottemperanza con le direttive europee tese alla riduzione delle emissioni serra e dei consumi.

Negli ultimi anni, numerosi progetti europei hanno approfondito questo tema, mirando ad incoraggiare l'utilizzo di energie rinnovabili e pratiche sostenibili nell'edilizia storica[101].

Di recente, le potenzialità della simulazione dinamica sono state impiegate utilmente anche nello studio delle esigenze conservative delle collezioni, come strumento diagnostico per valutare il microclima di ambienti confinati e per stimare l'impatto di possibili interventi sull'involucro edilizio o di modifiche nella regolazione degli impianti di condizionamento e delle pratiche di gestione (es. l'afflusso di addetti/visitatori, l'apertura di porte e finestre ecc.).

A questo proposito, diversi studi hanno indagato il compromesso più opportuno per bilanciare le istanze, spesso conflittuali tra loro, della conservazione e del risparmio energetico[102]; si cita, per tale motivo, il lavoro condotto da Corgnati *et al.* (2010)[103], in cui è impiegata la simulazione dinamica per valutare diverse combinazioni del sistema edificio-impianti. Nell'ambito dei depositi archivistici e librari, ove è marcata l'incidenza delle collezioni cartacee (materiali igroscopici) nella stabilizzazione delle variazioni di umidità relativa, il contributo dei beni è stato incluso nello studio di simulazione dinamica delle condizioni igrotermiche ambientali[104].

Un importante progetto europeo della European Commission, "Climate for Culture" (2009-2014), è stato finalizzato a stimare gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ambienti interni degli edifici storici e delle loro vaste collezioni in Europa e nel Mediterraneo, utilizzando la simulazione per studiare l'impatto del cambiamento climatico sul patrimonio culturale e le possibili strategie di mitigazione sostenibile[105].

Per concludere, è opportuno ribadire che sovente le misure da adottare per migliorare le condizioni degli ambienti destinati alla conservazione dei beni potrebbero ridursi a semplici ma risolutivi interventi. L'impiego di queste soluzioni, sebbene spesso disatteso in favore di misure più invasive e costose, dovrebbe essere sempre attentamente considerato prima di ricorrere alla progettazione di costosi quanto inefficaci impianti di complessa gestione (vedi §§ 3.4 e 4.3).

Note alle immagini

Fig. 4.1 diagramma elaborato da Roberto Bianchi, vedi: M.H. McCormick-Goodhart, H. Wilhelm, *The Design and Operation of a Passive Humidity-Controlled Cold Storage Vault Using Conventional Freezer Technology and Moisture-Sealed Cabinet*s, Final Program and Proceedings: IS&T Archiving Conference, April 20–23 2004, San Antonio, Texas, U.S.A., The Society for Imaging Science and Technology, 2004, pp. 176–182.

Fig. 4.2 diagramma elaborato da Roberto Bianchi, vedi: G. Thomson, *The Museum Environment*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1986.

Fig. 4.3 diagramma elaborato da Roberto Bianchi, vedi: E. Grandis, *Prove sulle materie fibrose, sulla carta e sul cartone*, Milano, ATICELCA, 1989.

Figg. 4.4, 4.5, 4.7, 4.8, 4.9, 4.9a, 4.10, 4.19a, 4.11 e 4.12 riprese fotografiche eseguite da Donatella Matè.

Figg. 4.6 e 4.6a riprese fotografiche eseguite da Vittorio Bianchi Matè.

Figg. 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21 elaborazioni grafiche di Elena Verticchio.

I materiali fotografici rappresentati nelle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] D. Camuffo, *Microclimate for Cultural Heritage Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*, second edition, Amsterdam, Elsevier, 2014.

[2] A. Bernardi, *Conservare Opere d'Arte: il Microclima negli Ambienti Museali*, Collana Pleiadi, Padova, Il prato, 2003.

[3] Regione Toscana, *Conservazione Preventiva e Controllo Microclimatico nel Contesto degli Standard Museali*, SMS Complesso Museale Santa Maria della Scala (ed.), Siena, Regione Toscana, 2010.

[4] R. Boschi, C. Minelli, P. Segala, *Dopo Giovanni Urbani: Quale Cultura per la Durabilità del Patrimonio dei Territori Storici?*, Firenze, Nardini Editore, 2017.

[5] D. Camuffo 2014, *op. cit.*

[6] UNI EN 15757:2010, *Conservazione dei Beni Culturali – Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2010.

[7] D. Camuffo 2014, *op. cit.*

[8] T. Padfield, *Why keep climate records – and how to keep them*, in *Museum Microclimates*, Contributions to the Copenhagen conference 19–23 November 2007, T. Padfield, K. Borchersen (eds.), Copenhagen, The National Museum of Denmark, 2007, pp. 157–163.

[9] UNI EN 15757:2010, *op. cit.*

[10] Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna, *Oggetti nel Tempo. Principi e Tecniche di Conservazione Preventiva*, Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna, Servizio Musei e Beni Culturali (eds.), con la collaborazione di L. Carlini, L. Masetti-Bitelli, A. Salvi, P. Mandrioli, P. De Nuntiis, C. Guaraldi, A. Monco, ER Musei e Territorio, Materiali e Ricerche, 7, IBACN, Bologna, Clueb, 2007, pp. 1–273, da: http://online.ibc.regione.emilia-romagna.it/l/libri/pdf/oggetti_nel_tempo.pdf (consultato il 20/06/2022).

[11] G. Accardo, G. Vigliano, *Strumenti e Materiali per il restauro. Metodi di Analisi Misura e Controllo*, Roma, Ed. Kappa, 1989.

[12] S. Michalski, *Double the life for each five-degree drop, more than double the life for each halving of relative humidity*, in *ICOM Committee for Conservation, 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 22–27 September 2002. Preprints, vol.1,* R. Vontobel (ed.), ICOM Committee for Conservation, London, James & James (Science Publishers) Lt, 2002, pp. 66–72.

[13] B. Lavédrine, *A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2003.

[14] G. Accardo, G. Vigliano 1989, *op. cit.*

[15] Museums & Galleries Commission Standards MGC, *Museums and Galleries Commission, Standards 7. in the Museum Care of Photographic Collections 1966*, London, MGC, 1996.

[16] M.H. McCormick-Goodhart, *The allowable temperature and relative humidity for the safe use and storage of photographic materials,* in *Journal of the Society of Archivists*, 17, 1, 1996, pp. 7–21, DOI:10.1080/00379819609511785; M.H. McCormick-Goodhart, H. Wilhelm, *The design and operation of a passive humidity-controlled cold storage vault using conventional freezer technology and moisture-sealed cabinet*s, in *Final Program and Proceedings: IS&T Archiving Conference*, April 20–23 2004, San Antonio, Texas, U.S.A., Springfield, IS&T: The Society for Imaging Science and Technology, 2004, pp. 176–182.

[17] M. Plossi Zappalà, *Il ruolo della ricerca scientifica nella conservazione e restauro del libro e del documento*, in *Libri e Documenti. Le Scienze per la Conservazione e il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Gorizia, Biblioteca Statale Isontina, 2007, pp. 615–624.

[18] J.L. Bigourdan, P.Z. Adelstein, J.M. Reilly, *Moisture and temperature equilibration: behaviour and practical significance in photographic film preservation*, in *La Conservation: une Science en Evolution. Bilan et Perspectives*, *Actes des troisièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, 21–25 avril 1997, Paris,* Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (ARSAG),

1997, pp. 154–164; M.H. McCormick-Goodhart, H. Wilhelm 2004, *op. cit.*

[19] Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna 2007, *op. cit.*

[20] D. Camuffo, V. Fassina, J. Havermans, *Basic Environmental Mechanisms Affecting Cultural Heritage*, Kermes Quaderni, Firenze, Nardini Editore, 2010.

[21] G. Accardo, G. Vigliano 1989, *op. cit.*

[22] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[23] G. Thomson, *The Museum Environment*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1986; G. Accardo, G. Vigliano 1989, *op. cit.*

[24] D. Camuffo *et al.* 2010, *op. cit.*

[25] T. Padfield 2007, *op. cit.*

[26] E. Menart, G. De Bruin, M. Strlič, *Dose-response functions for historic paper*, in *Polymer Degradation and Stability*, 96, 12, 2011, pp. 2029–2039, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.09.002.

[27] P.Z. Adelstein, J.L. Bigourdan, J.M. Reilly, *Moisture relationship of photographic film*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 3, 36, 1997, pp. 193–206, DOI: 10.1179/019713697806124475.

[28] M. Plossi Zappalà, *Influenza dell'ambiente di conservazione nei materiali librari e d'archivio*, in *Libri e Documenti. Le Scienze per la Conservazione e il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Gorizia, Biblioteca Statale Isontina, 2007, pp. 469–488.

[29] T. Padfield 2007, *op. cit.*

[30] M. Plossi Zappalà 2007, *op. cit.*

[31] J. Ashley-Smith, *Report on Newly Gathered Knowledge on Damage Functions*, Climate for Culture, 2013.

[32] M. Strlič, D. Thickett, J. Taylor, M. Cassar, *Damage functions in heritage science*, in *Studies in Conservation*, 58, 2, 2013, pp. 80–87.

[33] D.H. Griffin, *Fungal Physiology*, New York, Wiley Europe Publisher, 1996; J.W. Deacon, *Fungal Biology*, Malden, Blackwell Publishing Ltd, 2006.

[34] M. Krus, R. Kilian, K. Sedlbauer, *Mould growth prediction by computational simulation on historic buildings*, in *Museum Microclimates*, T. Padfield, K. Borchersen (eds.), Copenaghen, National Museum of Denmark, 2007, pp. 185–189.

[35] E. Chiappini, G. Liotta, M.C. Reguzzi, A. Battisti, *Insetti e Restauro. Legno, Carta, Tessuti, Pellame e Altri Materiali*, Bologna, Calderini Edagricole, 2001.

[36] G.P. Opit, J.E. Throne, *Population growth and development of the Psocid Liposcelis brunnea (Psocoptera: Liposcelididae) at constant temperatures and relative humidities*, in *Journal of Economic Entomology*, 102, 3, 2009, pp. 1360–1368, DOI: 10.1603/029.102.0364.

[37] J. Ashley-Smith 2013, *op. cit.*

[38] S. Michalski 2002, *op. cit.*

[39] J. Ashley-Smith 2013, *op. cit*; M. Strlič, C.M. Grossi, C. Dillon, N. Bell, K. Fouseki, P. Brimblecombe, E. Menart, K. Ntanos, W. Lindsay, D. Thickett, F. France, G. De Bruin, *Damage function for historic paper. Part III: Isochrones and demography of collections*, in *Heritage Science*, 3, 1, 40, 2015, pp. 2–11, DOI: 10.1186/s40494-015-0069-7; E. Verticchio, F. Frasca, C. Bertolin, A.M. Siani, *Climate-induced risk for the preservation of paper collections: Comparative study among three historic libraries in Italy*, in *Building and Environment*, 206, december 2021, 108394, DOI:10.1016/j.buildenv.2021.108394.

[40] D. Nishimura, *Understanding Preservation Metrics*, IPI WebERA Environmental Risk Analysis, Image Permanence Institute, 2009, pp. 1–11, da: https://s3.cad.rit.edu/ipi-assets/publications/understanding_preservation_metrics.pdf (consultato il 20/06/2022).

[41] eClimateNotebook, *The Better Way To Manage Collection Storage Environments*, Image Permanence Institute, 2019, da: https://www.eclimatenotebook.com/ (consultato il 20/06/2022).

[42] A. Fenech, C. Dillon, K. Ntanos, N. Bell, M. Barrett, M. Strlič, *Modelling the lifetime of colour photographs in archival collections*, in *Studies in Conservation*, 58, 2, 2013, pp. 107–116, DOI:

10.1179/2047058412Y.0000000081.

[43] S. Jakieła, R. Kozłowski, *Numerical modelling of moisture movement and related stress field in lime wood subjected to changing climate conditions*, in *Wood Science and Technology*, 42, 1, 2008, pp. 21–37, DOI: 10.1007/s00226-007-0138-5.

[44] D.C. Stulik, A. Kaplan, *The Atlas of Analytical Signatures of Photographic Processes: Albumen*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2013, pp. 1–45, da: https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/atlas.html (consultato il 20/06/2022).

[45] P. Messier, T. Vitale, *Cracking in albumen photographs: An ESEM Investigation*, in *Microscopy Research and Technique*, 5–6, 25, 1993, pp. 374–383, DOI:10.1002/jemt.1070250505.

[46] L. Residori, *Fotografie. Materiali Fotografici, Processi e Tecniche, Degradazione, Analisi e Diagnosi*, Collana I Talenti, Padova, Il prato, 2009.

[47] D. Camuffo 2014, *op. cit.*

[48] A. Bernardi 2014, *op. cit.*

[49] S. Michalski, *Running a Museum: a Practical Handbook*, Paris, ICOM-International Council of Museums, 2004, pp. 51–90.

[50] EU FP6, *PROPAINT, Improved Protection of Paintings During Exhibition, Storage and Transit, Final Activity Report*, E. Dahlin (ed.), Norwegian Institute for Air Research, 2010.

[51] E. Verticchio, F. Frasca, F.-J. Garcìa-Diego, A.M. Siani, *Investigation on the use of passive microclimate frames in view of the climate change scenario*, in *Climate* 7, 8, 2019, pp. 1–14, DOI: 10.3390/cli7080098.

[52] E. Giani, *Il monitoraggio microclimatico*, in *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol. I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 294–298.

[53] Standards MGC 1996, *op. cit.*

[54] D. Camuffo 2014, *op. cit.*

[55] S. Michalski, *Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values*, in *ICOM Committee for Conservation, Washington D.C., 22–27 August 1993: preprints,* International Council of Museums Committee for Conservation, 1993, pp. 624–629.

[56] UNI 10829:1999, *Beni d'interesse storico artistico – Condizioni ambientali di conservazione – Misurazione ed analisi*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1999.

[57] UNI 10586:1997, *Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti,* Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1997.

[58] F.-J. García-Diego, E. Verticchio, P. Beltrán, A.M. Siani, *Assessment of the minimum sampling frequency to avoid measurement redundancy in microclimate field surveys in museum buildings*, in *Sensors*, 16, 8, 2016, 1291, DOI: 10.3390/s16081291.

[59] UNI EN 15758:2010, *Conservazione dei beni culturali – Procedure e strumenti per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie degli oggetti*, Bruxelles, Comitato europeo di normazione, 2010; UNI EN 16242:2013, *Conservazione dei beni culturali – Procedure e strumenti per misurare l'umidità dell'aria e gli scambi di vapore tra l'aria e i beni culturali*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2013.

[60] D. Camuffo *et al*. 2010, *op. cit.*

[61] G. de Guichen, *Climat dans le Musée*, Roma, ICCROM, 1984; C. Cacace, T. Georgiadis, *Il rilevamento dei parametri fisici ambientali*, in *Aerobiologia e Beni Culturali*, P. Mandrioli, G. Caneva (eds.), Firenze, Nardini Editore, 1998, pp. 57–81; E. Giani 2005, *op. cit.*

[62] C. Cacace, T. Georgiadis 1998, *op. cit.*; A. Pinto, *Onde radio alla Biblioteca Nazionale di Napoli: il monitoraggio ambientale*, in *Tecnologie Avanzate per la Conservazione del Patrimonio*, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Dipartimento per la Ricerca, l'Innovazione e l'Organizzazione, IX Salone dei Beni e delle Attività Culturali Restaura, Venezia 2–4 dicembre 2005, Roma, Gangemi Editore, pp. 61–62.

[63] R. McGill, J.W. Tukey, W.A. Larsen, *Variations*

of box plots, in *The American Statistician*, 32, 1, 1978, pp. 12–16, DOI: 10.2307/2683468.

[64] S.P. Corgnati, V. Fabi, M. Filippi, *A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: application to a temporary exhibit*, in *Building and Environment*, 44, 6, 2009, pp. 1253–1260, DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.09.012.

[65] D. Camuffo, G. Sturaro, A. Valentino, *Thermodynamic exchanges between the external boundary layer and the indoor microclimate at the Basilica of Santa Maria Maggiore, Rome, Italy: the problem of conservation of ancient works of art*, in *Boundary-Layer Meteorology*, 92, 2, 1999, pp. 243–262, DOI: 10.1023/A:1002026711404.

[66] C. Cacace, T. Georgiadis 1998, *op. cit.*

[67] D. Camuffo 2014, *op. cit.*

[68] E. Giani, *Il monitoraggio microclimatico*, in *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol. I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 294–298.

[69] G. Thomson 1986, *op. cit.*

[70] E. Schito, P. Conti, D. Testi, *Multi-objective optimization of microclimate in museums for concurrent reduction of energy needs, visitors' discomfort and artwork preservation risks*, in *Applied Energy*, 224, 2018, pp. 147–159, DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.04.076.

[71] A. Luciani, *Evolution of thermo-hygrometric standards for cultural heritage preservation. An overview*, in *Indoor Environment and Preservation. Climate Control in Museums and Historic Buildings*, D. Del Curto (ed.), Kermes quaderni, Firenze, Nardini Editore, 2011, pp. 139–146.

[72] UNI 10969:2002, *Beni culturali – Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2002.

[73] UNI EN 15757:2010, *op. cit.*

[74] ASHRAE, *ASHRAE handbook – HVAC applications. Chapter 23: Museums, galleries, archives, and libraries,* Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Inc., 2011.

[75] M*i*BAC, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, D.Lgs n. 112/1998, art. 150, comma 6, Gazzetta Ufficiale n. 244 (supplemento), 19 ottobre 2001, fascicolo 238, Ambito IV, Roma.

[76] V. Fassina, *European Technical Committee 346: Conservation of cultural property – Updating of the activity after a three-year period*, in *Wood Science for Conservation of Cultural Heritage – Braga 2008, Proceedings of the International Conference held by COST Action IE0601, Braga, Portugal, 5–7 november 2008*, J. Gril (ed.), Firenze, Firenze University Press, 2010.

[77] CESMAR7, C. Lodi, C. Sburlino, *Prima, durante... invece del restauro*, in *Atti del Congresso, Parma, 16–17 novembre 2012, Sesto congresso internazionale Colore e Conservazione, materiali e metodi nel restauro delle opere policrome mobili*, *CESMAR7*, C. Lodi, C. Sburlino (eds.), Padova, Collana CESMAR7, Il prato, 2016.

[78] *Ibid.*

[79] ASHRAE, *ASHRAE handbook – HVAC applications. Chapter 24: Museums, galleries, archives, and libraries*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2019.

[80] S. Michalski, *The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Toward a Full Risk Analysis Model*, Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, Los Angeles, Getty Conservation, 2007, pp. 1–19.

[81] M.H.J. Martens, *Climate risk assessment in museums: degradation risks determined from temperature and relative humidity data*, Doctoral dissertation, Technische Universiteit Eindhoven, 2012, pp. 1–216, DOI: 10.6100/IR729797.

[82] Ł. Bratasz, *Allowable microclimatic variations in museums and historic buildings: reviewing the guidelines*, in *Climate for Collections. Standards and Uncertainties*, J. Ashley-Smith, A. Burmester, M. Eibl (eds.), London, Archetype Books, 2012, pp. 11–19.

[83] M.H. McCormick-Goodhart 1996, *op. cit.*

[84] ISO 18919:1999, *Imaging materials Thermally processed silver microfilm – Specifications for stability* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization, 1999; ISO 18905:2002, *Imaging materials – Ammonia-processed diazo photographic film – Specifications for stability* (reviewed and confirmed in 2017), Ginevra, International Organization for Standardization, 2002; ISO 18912:2002, *Imaging materials – Processed vesicular photographic film – Specifications for stability* (reviewed and confirmed in 2022), Ginevra, International Organization for Standardization, 2002; ISO 18909:2006, *Photography – Processed photographic colour films and paper prints – Methods for measuring image stability* (reviewed and confirmed in 2022), Ginevra, International Organization for Standardization, 2006; ISO 18901:2010, *Imaging materials – Processed silver-gelatin-type black-and-white film – Specifications for stability* (reviewed and confirmed in 2020), Ginevra, International Organization for Standardization, 2010; ISO 18911:2010, *Imaging materials – Processed safety photographic films – Storage practices* (reviewed and confirmed in 2020), Ginevra, International Organization for Standardization, 2010; ISO 18920:2011, *Imaging materials – Reflection prints – Storage practices* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization, 2011.

[85] IPI, *DP3 Digital Print Preservation Portal Newsletter*, Image Permanence Institute, Issue: 11, da: http://www.dp3project.org/resources/newsletter-archive/v11/revision-iso-18920 (consultato il 06/09/2021).

[86] M.C. Jürgens, *The Digital Prints. Identification and Preservation*, Los Angeles, Getty Pubblications, 2009.

[87] European Commission, *Climate for Culture – Damage Risk Assessment, Economic Impact and Mitigation Strategies for Sustainable Preservation of Cultural Heritage in the Times of Climate Change*, EU FP7 project (2009-2014), da: https://www.climateforculture.eu/ (consultato il 20/06/2022).

[88] IPI, *A Consumer Guide to Traditional and Digital Print Stability*, Rochester, Image Permanence Institute, 2004, pp. 1–8, da: https://scrlc.org/data/consumerguide_traditional.pdf (consultato il 20/06/2022).

[89] D. Burge, *IPI Guide to Preservation of Digitally-Printed Photographs*, Rochester, N.Y., Image Permanence Institute, 2014, pp. 1–10, da: http://dp3project.org/webfm_send/739 (consultato il 20/06/2022).

[90] Eastman Kodak Company, *Storage and Preservation of Motion-Picture Film*, Rochester, N.Y., Eastman Kodak Co., 1957; P.Z. Adelstein, C.L. Graham, L.E. West, *Preservation of motion-picture color films having permanent value*, in *SMPTE Journal,* 79, 1970, pp. 1011–1018.

[91] M.H. McCormick-Goodhart, M. Mecklenburg, *Cold storage environments for photographic materials,* in *I.S.& T. 46th Annual Conference (1993)*, Springfield, 1993, pp. 277–280.

[92] J. Reilly, *IPI Storage Guide for Acetate Film*, Rochester, New York, Image Permanence Institute, 1993, pp. 1–24, da: https://s3.cad.rit.edu/ipi-assets/publications/acetate_guide.pdf (consultato il 20/06/2022).

[93] D. Camuffo, C. Bertolin, *Towards standardisation of moisture content measurement in cultural heritage materials*, in *E-Preservation Science*, 9, 2012, pp. 23–35.

[94] M. Montanari, *Biodeterioramento – Fattori che favoriscono i fenomeni di biodeterioramento*, in *Libri e Documenti. Le Scienze per la Conservazione e il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Gorizia, Biblioteca Statale Isontina, 2007, pp. 286–296.

[95] E. Lucchi, *Simplified assessment method for environmental and energy quality in museum buildings*, in *Energy and Buildings*, 117, 2016, pp. 216–229, DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.02.037.

[96] N.M. Caminiti, C. Camporeale, M. Contaldi, M. Pantaleoni, M. Stefanoni, M. Velardi, *Parigi e Oltre. Gli Impegni Nazionali sul Cambiamento Climatico al 2030*, ENEA, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, 2016.

[97] Parlamento europeo e del Consiglio, *Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consi-*

glio, del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE; Parlamento europeo e del Consiglio, *Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio,* del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia; Parlamento europeo e del Consiglio, *Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio*, del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

[98] E. Schito, P. Conti, D. Testi, *Multi-objective optimization of microclimate in museums for concurrent reduction of energy needs, visitors' discomfort and artwork preservation risks*, in *Applied Energy*, 224, 2018, pp. 147–159, DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.04.076.

[99] R. Kramer, H. Schellen, J. van Schijndel, *Energy impact of ASHRAE's museum climate classes: a simulation study on four museums with different quality of envelopes*, in *Energy Procedia*, 78, 2015, pp. 1317–1322, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.147.

[100] E. Schito *et al.* 2018, *op. cit.*

[101] European Commission, *New4Old, New Energy for Old Buildings – Promoting the Integration of RES & RUE Measures in Historic Buildings*, Intelligent Energy Europe, IEE project (2007–2010), da: https://nachhaltigwirtschaften.at/en/hdz/projects/new-4old-new-energies-for-old-buildings.php (consultato il 19/06/2022); BEEP – BIM for Energy Efficiency in the Public sector (2019-2022), da: https://www.enicbcmed.eu/projects/beep (consultato il 20/06/2022); European Commission, *3ENCULT*, *Efficient Energy for EU Cultural Heritage*, EUFP7 project (2010–2014), da: http://www.3encult.eu (consultato il 19/06/2020); A. Troi, R. Lollini, *Interdisciplinary research: FP7 project "3ENCULT – Efficient Energy for EU Cultural Heritage"*, in *Energy Management in Cultural Heritage*, Conference 6–8 April 2011, Dubrovnik, Croatia, pp. 1–10, da: https://www.buildup.eu/sites/default/files/2011_EM_Troi_3ENCULT.pdf (consultato il 20/06/2022).

[102] K. Kompatscher, R.P. Kramer, B. Ankersmit, H.L. Schellen, *Intermittent conditioning of library archives: Microclimate analysis and energy impact*, in *Building and Environment*, 147, 2019, pp. 50–66, DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.013; F. Frasca, E. Verticchio, C. Cornaro, A.M. Siani, *Optimising conservation of artworks, energy performance and thermal comfort combining hygrothermal dynamic simulation and on-site measurements in historic buildings*, in *Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA*, V. Corrado, E. Fabrizio, A. Gasparella, F. Patuzzi (eds.), BS 2019 2–4 Sept 2019, International Building Performance Simulation Association, pp. 2856–2863, DOI:10.26868/25222708.2019.210423.

[103] S.P. Corgnati, V. Fabi, D. Raimondo, *Livello di qualità microclimatica, consumi energetici e impatti ambientali in ambienti museali*, in *Conservazione Preventiva e Controllo Microclimatico nel Contesto degli Standard Museali*, SMS Complesso Museale Santa Maria della Scala (ed.), Siena, Regione Toscana, 2010.

[104] A. Kupczak, A. Sadłowska-Sałęga, L. Krzemień, J. Sobczyk, J. Radoń, R. Kozłowski, *Impact of paper and wooden collections on humidity stability and energy consumption in museums and libraries*, in *Energy and Buildings*, 158, 2018, pp. 77–85.

[105] J. Leissner, R. Kilian, F. Antretter, Z. Huijbregts, H.L. Schellen, A.W.M. van Schijndel, *Impact of climate change on historic buildings and future energy demand by using whole building simulation tools*, in *Implementing Sustainability – Barriers and Chances: Proceedings of SB13, 24–26 April 2013 Munich, Germany*, Technische Universiteit Eindhoven, 2013, pp. 1–10; J. Leissner, R. Kilian, L. Kotova, D. Jacob, U. Mikolajewicz, T. Broström, J. Ashley-Smith, H.L. Schellen, M. Martens, J. van Schijndel, F. Antretter, M. Winkler, C. Bertolin, D. Camuffo, G. Simeunovic, T. Vyhlídal, *Climate for Culture: assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations,* in *Heritage Science*, 3, 38, 2015, DOI:10.1186/s40494-015-0067-9; CfC Climate for Culture 2019, *op. cit.*

5 Le radiazioni luminose

Donatella Matè, Luciana Rossi

Il concetto di microclima deve essere esteso anche alle interazioni luminose in quanto la temperatura dell'aria e l'umidità relativa sono insufficienti a caratterizzare l'ambiente fisico *indoor* e le sue interazioni con i manufatti. La luce, insieme alle radiazioni ultraviolette e infrarosse, può, infatti, danneggiare tramite effetto fotochimico ed effetto radiante termico. Modificazioni diverse, che vanno da variazioni di colore e sbiadimenti a distacchi e crettature, si manifestano in seguito all'assorbimento di radiazioni e di calore prodotti dalla luce naturale e artificiale; ciò avviene soprattutto nel caso di manufatti polimaterici come le fotografie. Il danno causato dalla luce è cumulativo, per cui è necessario considerare: intensità, durata e distribuzione spaziale delle radiazioni luminose.

Stampe fotografiche, pellicole, lastre, abitualmente sono conservate al buio all'interno di gallerie, biblioteche, archivi e musei o nei loro depositi. Tutt'al più, quando sono collocate nelle sale di lettura/consultazione, restano chiuse all'interno di contenitori (buste, scatole, raccoglitori ecc.) che, se non trasparenti, rappresentano una valida protezione dalla penetrazione della luce, sebbene, come si vedrà in seguito, molti materiali si deteriorano anche al buio.

I momenti più critici nella "vita" delle fotografie, per quanto riguarda l'esposizione a sorgenti radianti, si manifestano in concomitanza di mostre, durante lo studio o la consultazione, oppure, in particolare per le diapositive, in fase di proiezione (dove alla luce si aggiunge il calore emesso dalla lampada). In queste occasioni i materiali, soprattutto a colori, altamente sensibili alla luce, possono subire, anche in breve tempo, gravi alterazioni la cui entità dipende dalla quantità di luce, dalla durata dell'esposizione, dalla qualità della radiazione (spesso associata, nell'emissione della sorgente, ad energia termica con sinergici effetti dannosi), e non ultimo, dalla natura e dallo stato di conservazione del materiale.

Per meglio illustrare i problemi derivanti dall'illuminazione nei confronti delle fotografie e le interazioni con i materiali costituenti, al fine di assicurare condizioni di conservazione accettabili anche al di fuori dei depositi e ridurre al minimo i rischi da fotodeterioramento, risulta opportuno trattare brevemente le grandezze radiometriche e fotometriche, le relative unità di misura, gli strumenti di misurazione e i vari tipi di sorgenti luminose.

5.1 Radiazioni elettromagnetiche

Il sole è la sorgente naturale che emette in forma continua la gamma completa delle radiazioni elettromagnetiche; le due più importanti grandezze che le descrivono sono la lunghezza d'onda (λ) e la frequenza (ν) (per approfondimenti sulla composizione corpuscolare e ondulatoria delle radiazioni elettromagnetiche, sulle loro proprietà e caratteristiche, si rimanda a testi specialistici di fisica ottica). La prima grandezza, che si misura in metri e nei suoi multipli e sottomultipli, rappresenta la distanza tra due massimi (creste) o due minimi (avvallamenti) dell'onda; la seconda, legata direttamente all'energia della radiazione, è l'espressione del numero di cicli d'onda (periodi)

che passano in un dato punto nell'unità di tempo. Si misura in Hertz (Hz) e nei suoi multipli.

Lunghezza d'onda e frequenza sono legate da una relazione di proporzionalità inversa:

$$\nu = c/\lambda \qquad (5.1)$$

c = valore costante pari alla velocità della luce ($\sim 3 \cdot 10^8$ m/s)

Le onde elettromagnetiche, pur costituendo uno spettro continuo, sono convenzionalmente classificate in bande rispetto alle lunghezze d'onda o alle frequenze caratteristiche. Ordinate per energie decrescenti e, quindi per lunghezze d'onda crescenti (espresse usualmente in nanometri – 1 nm = 10^{-9} m cioè 1 miliardesimo di metro), esse sono:

- raggi γ ($\lambda \sim 10^{-13}$ m; ~ 0,0001 nm);
- raggi X ($\lambda \sim 10^{-10}$ m; ~ 0,1 nm);
- raggi X ($\lambda \sim 10^{-10}$ m; ~ 0,1 nm);
- raggi ultravioletti o UV ($\lambda \sim 10^{-8}$ m) a loro volta suddivisi in UVC (λ = 100–280 nm), UVB (λ = 280–315 nm) e UVA (λ= 315–400 nm, detto anche vicino ultravioletto);
- luce visibile (λ~400–700 nm);
- raggi infrarossi o IR (λ~700 nm–1 mm), microonde e onde radio (espresse preferenzialmente in termini di frequenza – in Hz o GHz) aventi lunghezze d'onda di valore crescente fino al metro e oltre.

Di tutta la gamma di emissioni solari, una gran parte delle radiazioni più energetiche viene bloccata dagli alti strati gassosi dell'atmosfera terrestre, per cui lo spettro solare che raggiunge la Terra, influenzato peraltro anche dalle condizioni meteorologiche, dall'altitudine e dall'inquinamento, si manifesta a partire all'incirca dalla banda delle radiazioni UVB. Negli ambienti confinati, una parte pericolosa dell'emissione UV (300–320 nm) è fermata dai normali vetri (ma non dai cristalli) delle finestre che rappresentano dunque una valida protezione da tali radiazioni, resta efficace, invece, la regione del vicino ultravioletto (320–390 nm) dalla quale è necessario salvaguardare i materiali sensibili. Altro elemento di rischio proviene da alcune lampade artificiali in grado di emettere radiazioni di lunghezza d'onda inferiore ai 300 nm[1].

Quella che normalmente chiamiamo luce, in realtà è solo una piccola porzione dell'intero spettro elettromagnetico corrispondente alla radiazione visibile, la sola che l'occhio umano è in grado di percepire. La massima sensibilità dell'organo della vista, nelle ordinarie condizioni di illuminazione, cade a 550 nm (visione fotopica) corrispondente al colore giallo-verde; le facoltà percettive decrescono rapidamente verso le due estremità dello spettro visibile. Il colore individuato dall'occhio è dovuto all'energia dei fotoni associata a queste radiazioni che eccita gli stati energetici degli elettroni costituenti la materia, i quali assorbono alcune lunghezze d'onda della luce passando a livelli energetici più alti e ne respingono altre. Le onde riflesse colpiscono il sistema visivo che assegna il colore all'oggetto. Gli oggetti appaiono rispettivamente neri o bianchi quando assorbono o respingono tutte le radiazioni. La visione è inoltre influenzata anche dalle condizioni di illuminamento: quando la luce è scarsa la sensibilità dell'occhio diminuisce (visione scotopi-

ca) e non consente di distinguere i colori[2].

Si definiscono fotochimiche le reazioni che avvengono quando la luce fornisce l'energia necessaria affinché tali reazioni possano compiersi. Quando le molecole assorbono energia radiante, passano ad uno stato "attivato" per poi tornare allo stato fondamentale senza che avvenga un vera e propria trasformazione, ma attraverso emissione di energia sotto forma di calore o di debole radiazione luminosa (fluorescenza o luminescenza).

L'energia delle radiazioni UV è paragonabile a quella di dissociazione di legami covalenti, se viene assorbita in quantità sufficiente, può provocare la "rottura" di tali legami che costituiscono la struttura portante di macromolecole organiche e di altri materiali. Ad esempio la cellulosa, per effetto di radiazioni UV, può subire, a causa della fotolisi, la scissione delle catene con conseguente depolimerizzazione e riduzione delle proprietà di resistenza meccanica delle fibre. In genere le reazioni provocate da radiazioni UV sono governate da un meccanismo di tipo radicalico che determina la rottura del legame covalente lasciando due frammenti molecolari (radicali) con un elettrone spaiato ciascuno (scissione omolitica). Ogni radicale, caratterizzato da elevate reattività e instabilità, è capace di scindere altre molecole dando luogo a possibili reazioni a catena che possono propagarsi e proseguire anche quando la sorgente di radiazioni è stata allontanata, con effetti per i materiali estremamente deleteri anche in breve tempo.

Ogni reazione di tipo fotochimico richiede radiazioni di diversa lunghezza d'onda, purché l'energia assorbita sia utile ai fini della reazione; gli elettroni di legami più deboli (p) possono essere attivati più facilmente anche dall'energia delle radiazioni della regione visibile. La radiazione infrarossa per la sua bassa energia è in grado di agire sui livelli vibrazionali e rotazionali delle molecole ma non sui legami. Ad essa è associata soprattutto emissione di calore che produce effetti moltiplicatori nel fotodeterioramento e nei già descritti fenomeni dovuti ad aumento di temperatura: essiccazione dell'aria, disidratazione e contrazione dei materiali igroscopici.

La misurazione della quantità di energia radiante, emessa da una sorgente o incidente su una superficie, è effettuata tramite misure radiometriche. L'unità di misura fondamentale in radiometria è il watt che definisce la potenza emessa da una sorgente; l'energia radiante si misura in joule.

La fotometria, branca della radiometria, si occupa della misurazione delle quantità di energia luminosa emesse da una sorgente o ricevute da una superficie in relazione alla sensibilità dell'occhio umano, limitatamente cioè, alle radiazioni visibili.

Oltre le grandezze fotometriche di tipo quantitativo, la luce può essere caratterizzata da parametri di tipo qualitativo come la temperatura di colore che descrive la sensazione di luce calda o fredda prodotta dalla tonalità della luce e la resa cromatica che descrive quanto una luce artificiale alteri o meno il colore degli oggetti illuminati.

Le principali grandezze fotometriche e le unità di misura ad esse correlate sono le seguenti (per ulteriori approfondimenti si rimanda a testi di fisica ottica e di illuminotecnica):

- flusso luminoso – quantità di energia luminosa emessa da una sorgente nell'unità di tempo (s). L'unità di misura è il lumen (lm) e corrisponde alla quantità di luce prodotta da una sorgente di intensità pari ad 1 candela (cd);
- intensità luminosa – esprime il flusso luminoso emesso da una sorgente in una data direzione, per unità di angolo solido, steradiante (sr);

- illuminamento – rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una superficie e l'area della superficie stessa. Misure d'illuminamento in lux (lx) sono adottate nelle raccomandazioni per l'esposizione di opere sensibili alla luce. Il valore dell'illuminamento diminuisce proporzionalmente al quadrato della distanza tra l'oggetto e la sorgente, quindi rispetto ad un'opera posta ad 1 metro dalla sorgente, un'altra, identica, posta a doppia o tripla distanza riceverà un illuminamento pari ad 1/4 o ad 1/9 ecc. È una grandezza importante, perché la nostra percezione degli oggetti è dovuta alla radiazione riflessa da essi, che è proporzionale all'illuminamento stesso;
- luminanza – rappresenta il flusso luminoso per unità di superficie e per unità di angolo solido emesso (anche per riflessione) da una sorgente luminosa estesa in direzione perpendicolare alla superficie stessa. Questa grandezza è molto utilizzata in illuminotecnica in quanto tiene conto della quantità di radiazione, proveniente dalla sorgente oppure riflessa da una superficie, che colpisca l'osservatore e quindi anche di eventuali fastidiosi fenomeni di abbagliamento.

Altro parametro importante è l'efficienza luminosa che esprime la capacità di una lampada di convertire la potenza assorbita in flusso luminoso. Si tratta del rapporto fra flusso luminoso emesso e potenza elettrica assorbita la cui unità di misura è il lumen/watt (lm/W).

Ogni grandezza fotometrica ha una propria omologa nella corrispettiva grandezza radiometrica, avente però nome, simbolo e unità di misura, diversi (tab. 5.1).

Tabella 5.1 – Misure radiometriche e fotometriche: grandezze e unità di misura.

MISURE RADIOMETRICHE			MISURE FOTOMETRICHE		
Grandezza	**Simbolo**	**Unità di misura**	**Grandezza**	**Simbolo**	**Unità di misura**
Flusso radiante	P_e	W	Flusso luminoso	Φ	lm
Intensità radiante	I_e	W/sr	Intensità luminosa	I_v	cd (lm/sr)
Irradianza	E_e	W/m^2	Illuminamento	E_v	lx o lm/m^2
Radianza	L_e	$W/sr\ m^2$	Luminanza	L_v	cd/m^2*

* Anche indicata con il nome di nit.

5.2 Fotosensibilità correlata ai materiali fotografici

L'illuminamento massimo consentito per i materiali fotografici va modulato secondo la categoria di sensibilità del procedimento. Le immagini a colori (anche colorite o ritoccate manualmente con pigmenti e/o coloranti) e argentiche (storiche) sono altamente sensibili mentre le immagini in bianco e nero a sviluppo e i procedimenti fotomeccanici appartengono a classi di sensibilità leggermente inferiori. L'Atto di indirizzo (2001)[3] indica per le prime, un illuminamento non superiore ai 50 lx, mentre per le seconde, se in buono stato di conservazione, illuminamenti di poco superiori. L'irradianza della componente UV, associata all'emissione luminosa, non dovrà superare 0,05 μW/cm^2 per i beni altamente sensibili e 0,4 μW/cm^2 per quelli mediamente sen-

sibili. Con identici valori di illuminamento, infatti, sorgenti luminose diverse possono produrre differenti effetti dannosi dipendenti dalla quantità relativa di componente UV contenuta nella radiazione emessa e dalla sua specifica lunghezza d'onda (che per alcune lampade può liberarsi anche nell'intervallo ad alto rischio compreso tra 320 e 380 nm)[4]. Sempre secondo l'Atto di Indirizzo, la massima quantità consentita di componente UV associata al flusso luminoso è 10 µW/lm, per i beni altamente sensibili e 75 µW/lm per quelli di media sensibilità[5]. La componente infrarossa associata al flusso luminoso è responsabile di effetti termici.

La luce ha un effetto cumulativo nel tempo, l'intensità della fotodegradazione è connessa alla durata dell'esposizione alle radiazioni luminose: una superficie colpita da 50 lx per 10 h assorbe le stesse radiazioni di una esposta per 1 h a 500 lx. Viene definita dose totale di esposizione o dose di luce annuale (LO), la quantità di illuminamento annuo sopportabile dalle opere: si calcola moltiplicando l'illuminamento per il n° di ore di esposizione alla luce. Per le fotografie, come per altre categorie di beni culturali, non esistono normative che impongano limiti riguardo le massime dosi totali di esposizione, ma solo indicazioni (presentate nelle tabelle seguenti), accettate internazionalmente, di valori massimi raccomandati per categorie di fotosensibilità.

Nella tabella 5.2, proposta dalla Section française de l'Institut International de Conservation – SFIIC (1986) e da Lavédrine (2003), sono riportati i valori massimi accettabili di illuminamento, irradianza, dose totale di esposizione e componente ultravioletta massima associata al flusso luminoso, per i procedimenti fotografici tradizionali e per confronto anche fotomeccanici. Si consideri che una immagine appartenente alla I categoria e cioè a sensibilità molto alta, potrà subire un illuminamento di 50 lx per un massimo di 240 h l'anno (12.000/50); se sottoposta alla luce per 8 h al giorno è bene non superare 30 giorni di esposizione annui, che si dimezzano se l'illuminamento raddoppia.

Tabella 5.2 – Categorie di fotosensibilità e parametri consigliati per diversi procedimenti fotografici (tradotta da: SFIIC, 1986 e Lavédrine, 2003[6]).

CATEGORIA DI FOTOSENSIBILITÀ	PROCEDIMENTO FOTOGRAFICO	E_v (lx)*	LO (lx h/anno)**	Ee (µW/cm²)***	UV max (µW/lm)****
1 Sensibilità molto alta	Procedimenti argentici del XIX secolo. Fotografie a colori a sviluppo cromogeno.	50	12.000	0,05	10
2 Sensibilità alta	Ilfochrome classic – *dye bleach*. Stampe a colori *dye-transfer*. Stampe b/n (politenate – RC).	75	42.000	0,4	75
3 Sensibilità media	Dagherrotipi non colorati. Stampe b/n (baritate). Procedimenti ai pigmenti (carbone e gomma bicromata). Procedimenti fotomeccanici.	150	84.000	1,2	75

Si deve supporre che le radiazioni UV e IR siano state eliminate dalla fonte di luce.
* Illuminamento max.
** Dose totale esposizione.
*** Irradianza UV max.
**** Componente UV max associata al flusso luminoso. Si tratta del rapporto tra intensità UV (in unità radiometriche µW/m²) e intensità luminosa (in unità fotometriche lux = lumen/m²), quindi il risultato è µW/lm.

Le linee guida di tabella 5.3, per i livelli di esposizione di vari materiali sono state compilate per la Library of Congress nel 1991 (aggiornate nel 1996 e nel 2000). I calcoli di esposizione del campione si basano su 10 h al giorno.

Tabella 5.3 – Categorie di fotosensibilità e dose totale di esposizione per diversi procedimenti fotografici (tradotta e rielaborata da: AIC, 2004[7]).

CATEGORIA DI FOTOSENSIBILITÀ	PROCEDIMENTO FOTOGRAFICO*	LO (lx h/anno)
1 Elevata sensibilità	Autocromie e altri processi a colori sperimentali (es. carte salate prive di fissaggio). Stampe alla gelatina stabilizzate.	Max 1 anno con luce UV rimossa.
2 Alta sensibilità	Stampe su carta salata, stampe all'albumina, stampe ad annerimento diretto, stampe su carta colorite a mano (deteriorate), supporti cartacei colorati (es. stampe all'albumina tinte di rosa o di blu oppure supporti baritati) o in tessuto. Cianotipi, diazotipi, stampe con processo Pellet, stampe Van Dyke brown, fotocopie ecc. Stampe al carbone, stampe al platino o palladio, stampe alla gomma dicromata (con supporto di scarsa qualità o con pigmenti sensibili alla luce). Oggetti con montaggio (con parti in seta, velluto, pelle ecc.) Stampe digitali (*inkjet dye-based* o con supporto scadente). Fotografie a colori (ante-1990), stampe *silver dye bleach* (a colori, Cibachrome 1963-1991/Ilfochrome 1991-ad oggi), processi ad imbibizione di coloranti (Dye Transfer a colori). Fotografie patinate, processi a colori pre-1990. Fotografie colorite a mano. Transparenze (a colori, pre-1990). Polaroid® e altri processi istantanei. Supporti *resin-coated* (pre-1950, dal 1950 possibile presenza di sbiancanti ottici). Woodburytype (con pigmenti non naturali o di scarsa qualità).	32.280-53.800 Con luce UV rimossa.
3 Moderata sensibilità	Stampe su carta salata e all'albumina, stampe al collodio e alla gelatina (sbiadite), stampe a sviluppo alla gelatina (carte *resin-coated* pre-1950 o carte contemporanee con sbiancanti ottici). Stampe alla gomma dicromata (con carta sensibile ma con pigmenti terrosi), stampe al platino/palladio miscelati con argento (su carta di buona qualità). Processi a colori (post-1900). Cibachrome/Ilfochrome (con luce maggiore e tempo minore). Stampe fotomeccaniche (*photogravure*, collotipi).	53.500-107.600 Con luce UV rimossa.
4 Bassa sensibilità	Dagherrotipi, ferrotipi, ambrotipi (senza montaggio, ben conservati e privi di coloritura). Stampe a sviluppo alla gelatina su carta non baritata (b/n ben trattate, prive di coloritura manuale e senza sbiancanti ottici). Stampe al collodio *matte* (ben conservate e prive di coloritura). Stampe al carbone (con supporto di buona qualità e con pigmenti terrosi o al carbone), stampe alla gomma dicromata (su carta di buona qualità con pigmenti terrosi o al carbone). Stampe fotomeccaniche con inchiostri resistenti su carta di buona qualità e senza coloritura manuale. Woodburytype (con carta di buona qualità e con pigmenti naturali o al carbone).	107.600-215.200

* Per i procedimenti fotografici vedi Capitolo 2.

In tabella 5.4 il prospetto suggerito da Michalski (2018)[8] riporta una stima del tempo impiegato, a vari livelli di esposizione (lux), affinché inizi lo sbiadimento (appena individuabile) e termini (fino alla quasi totale assenza dei colori originali) di varie tipologie di materiali fotografici.

Si presume che ogni giorno di esposizione sia di 8 h e ogni anno di 3.000 h. Il tempo per uno "sbiadimento appena evidente" è dato come un *range* basato sulle dosi per l'intervallo ISO Blue Wool Standard per quella categoria di sensibilità. Lo standard, nato per il settore tessile e ampiamente usato in ambito museale, suddivide in otto categorie i campioni in base alla resistenza dei rispettivi colori alla luce. Si tratta dunque di una scala per la sensibilità allo sbiadimento, dovuto alla luce, che misura e calibra la permanenza dei colori.

Le ampie categorie di sensibilità mostrate in tabella (bassa, media e alta) sono state adottate nella CIE 2004[9], linea guida internazionale per l'illuminazione in ambienti espositivi.

Tabella 5.4 – Categorie di fotosensibilità in relazione allo sbiadimento subito nel tempo per diversi materiali fotografici (tradotta e rielaborata da: Michalski, 2018).

CATEGORIA DI FOTOSENSIBILITÀ	E_v (lx)	QUANTITÀ DI SBIADIMENTO IN RELAZIONE AL TEMPO
Bassa Materiali classificati secondo la ISO Blue Wool #7, #8 (e oltre). Stampe alla gelatina b/n ai sali d'argento (con supporto cartaceo non politenato) assumendo che i raggi UV siano bloccati.	150	Sbiadimento evidente*: 100 – 2.000 anni. Sbiadimento quasi totale: 3.000 – 70.000 anni.
	500	Sbiadimento evidente: 30 – 700 anni. Sbiadimento quasi totale: 1.000 – 20.000 anni.
	5.000**	Sbiadimento evidente: 3 – 70 anni. Sbiadimento quasi totale 100 – 2.000 anni.
	30.000***	Sbiadimento evidente: 6 mesi – 10 anni. Sbiadimento quasi totale: 20 – 300 anni.
Media Materiali classificati secondo la ISO Blue Wool #4, #5, #6. Maggior parte delle fotografie a colori che termina col suffisso "chrome" (es. Cibachrome, Kodachrome).	150	Sbiadimento evidente: 7 – 200 anni. Sbiadimento quasi totale: 200 – 7.000 anni.
	500	Sbiadimento evidente: 2 – 70 anni. Sbiadimento quasi totale: 70 – 2.000 anni.
	5.000**	Sbiadimento evidente: 2 – 7 mesi. Sbiadimento quasi totale: 7 – 200 anni.
	30.000***	Sbiadimento evidente: 2 settimane – 1 anno. Sbiadimento quasi totale: 1 – 30 anni.
Alta Materiali classificati secondo la ISO Blue Wool #1, #2, #3. Maggior parte delle fotografie a colori che termina col suffisso "color" (es. Kodacolor, Fujicolor). Molti coloranti utilizzati per colorare la carta nel XX secolo (anche per la coloritura delle fotografie).	150	Sbiadimento evidente: 1/2 – 7 anni. Sbiadimento quasi totale: 15 – 200 anni.
	500	Sbiadimento evidente: 1/7 – 2 anni. Sbiadimento quasi totale: 5 – 60 anni.
	5.000**	Sbiadimento evidente: 5 giorni – 2 mesi. Sbiadimento quasi totale: 6 mesi – 6 anni.
	30.000***	Sbiadimento evidente: 1 giorno – 2 settimane. Sbiadimento quasi totale: 1 mese – 1 anno.

* Sbiadimento evidente (tradotto da *just noticeable*) e cioè cambiamento di colore come "appena percettibile" dal punto di vista di chi osserva.
** Derivante dalla luce di una finestra o di una lampada.
*** Luce media del giorno.

Altri istituti hanno messo a punto linee guida per l'illuminazione da adottare tentando di specificare i termini dell'esposizione, le fonti di luce e i periodi variabili di oscurità, i cosiddetti "periodi di riposo", tra un evento espositivo e un altro.

Ad esempio, il Museum of Fine Arts di Boston ha raccomandato un periodo espositivo di 3 mesi (ogni 5 anni) per materiali molto sensibili. Il Cincinnati Art Museum in Ohio, ha proposto un fermo di 5 anni dopo un'esposizione di 4–7 mesi per processi fotografici del XIX secolo e di 3 anni dopo 6–12 mesi di esposizione per stampe alla gelatina e per i materiali a colori. In generale le linee guida messe a punto da istituzioni quali la British Library di Londra, il J. Paul Getty Museum di Los Angeles, il Chicago Art Institute, consigliano valori di livelli di esposizione in lux compresi tra 50 e 100[10].

La National Information Standards Organization (NISO), Committee MM, organizzazione statunitense che pubblica standard tecnici relativi ad applicazioni bibliografiche e bibliotecarie, ha redatto uno standard per l'esposizione di materiali per biblioteche e archivi (Z39.79–1999) che include materiali fotografici. Lo standard raccomanda un'esposizione generale alla luce di 50–100 Ix con radiazioni UV ridotte e un'esposizione limitata a 12 settimane all'anno.

Come si può notare, l'approccio sopra evidenziato tenta infatti di bilanciare la necessità di preservare la collezione con l'importanza della valorizzazione del patrimonio.

Nei musei e in altri luoghi espositivi, dove i livelli di illuminamento sono contenuti per la salvaguardia dei beni esposti, spesso i visitatori lamentano la scarsa visibilità delle opere e delle didascalie. L'occhio umano è in grado di distinguere oggetti anche a bassi valori di illuminamento, ma potrebbe impiegare un certo tempo ad adattarsi se proveniente da ambienti molto illuminati; per ovviare a questo, e consentire al pubblico di vedere le opere anche in condizioni di semioscurità, potrebbe recare vantaggio installare dispositivi di adattamento progressivo, utilizzare sorgenti a tonalità calda e rimuovere ogni fenomeno di abbagliamento[11].

Un'altra serie di indicazioni sono state redatte nel 2001 da Sarah Wagner, Connie McCabe e Barbara Lemmen, nell'ambito del Photographic Materials Group (PMG)[12] dell'American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works (AIC). Il gruppo, ufficialmente formato nel 1979, ha come scopo principale quello di facilitare scambi e informazioni sulla conservazione delle fotografie promuovendo la diffusione delle informazioni inerenti tale pratica. Queste raccomandazioni (tab. 5.5) costituiscono un aggiornamento delle indicazioni formulate in merito ai livelli di esposizione precedentemente compilati per la Library of Congress di Washington, D.C., nel 1991 e successivamente modificate nel 1996 e nel 2000 ed evidenziate già in tabella 5.3.

Si presume comunque che i materiali utilizzati per l'esposizione abbiano superato il PAT (ISO 18916:2007)[13], che alle sorgenti luminose sia stato rimosso il contenuto di raggi ultravioletti e infrarossi, che l'umidità relativa sia stata mantenuta intorno al 45–50% e che i contaminanti dell'aria siano stati filtrati[14].

Come spesso accade anche in altri ambiti conservativi, non si può definire con certezza assoluta il comportamento di originali fotografici esposti alla luce; alcune immagini manifestano segni di degradazione molto prima di accumulare la dose di esposizione massima consentita, altre, al contrario, non presentano, almeno nell'immediato, tracce visibili di deterioramento pur avendo superato tale soglia.

Molteplici cause imponderabili possono introdurre incognite nel comportamento nei confronti della luce ad esempio: la diversa composizione delle fotografie (pur ottenute con lo stesso procedimento), la presenza o meno di residui chimici soprattutto di sviluppo e fissaggio, i pregressi interventi di restauro e/o di messa in sicurezza con procedure e materiali ignoti, lo stato conservativo, gli effetti di riscaldamento che si aggiungono e sinergicamente agiscono con quelli causati dall'irraggiamento. Quando non sia possibile sostituire gli originali con copie, si raccomanda di evitare il superamento dei valori d'illuminamento indicati, anche se complessivamente contenuti entro i limiti della LO consigliata[15].

Si raccomanda, inoltre, dopo avere valutato singolarmente lo stato di conservazione di ogni bene e in caso di esposizioni di lunga durata, essendo i danni cumulativi, di effettuare una rotazione periodica delle opere esposte che potrebbe rivelarsi utile, se non addirittura risolutiva.

Tabella 5.5 – Categorie di fotosensibilità, valori di LO massima e cicli di riposo consigliati per diversi materiali fotografici (tradotta e rielaborata dalle linee guida PMG, 2001).

CATEGORIA DI FOTOSENSIBILITÀ	PROCEDIMENTO FOTOGRAFICO	LO (lx h/anno) CICLI DI RIPOSO
Elevata sensibilità	Processi sperimentali. Autocromie e altri processi con coloranti. Stampe alla gelatina d'argento stabilizzate.	Esposizione interdetta.
Alta sensibilità	Stampe con trattamenti non condotti correttamente o danneggiate (con sbiadimenti o ingiallimenti). Stampe utilizzate in architettura e fotoriproduzioni (es. cianotipi, stampe Van Dyke). Stampe al carbone (con pigmenti colorati escluso *carbon black*). Stampe alla gomma bicromata (con pigmenti colorati, escluso *carbon black*). Processi fotografici a colori (es. trasparenze e stampe pre-1990, stampe istantanee come le Polaroid, stampe a trasferimento di coloranti – Dye Transfer, Ciba/Ilfochrome, stampe post-1990). Woodburytype. Stampe digitali come le *inkjet*. Stampe su carta RC. Oggetti esposti in astucci. Fotografie colorite a mano. Stampe con lo strato baritato o con il legante che contiene coloranti blu o rosa.	50.000 Periodo di riposo di almeno 3 anni.
Moderata sensibilità	Stampe all'albumina. Stampe al collodio ad annerimento diretto. Stampe alla gelatina ad annerimento diretto. Stampe su carta salata.	100.000 Periodo di riposo di almeno 2 anni.
Bassa sensibilità	Stampe in b/n alla gelatina ad annerimento diretto. Stampe al carbone. Stampe alla gomma bicromata. Dagherrotipi, ambrotipi, ferrotipi (non coloriti e con montaggi metallici). Procedimenti fotomeccanici (es. collotipi, *halftone*). Woodburytype.	300.000 Periodo di riposo di almeno 1 anno.

5.3 Effetti delle radiazioni sui materiali fotografici

In generale la luce può provocare annerimento dei composti d'argento residui, ingiallimento e infragilimento dei leganti e delle carte dei supporti primari e secondari (soprattutto di scadente qualità), degradazione dei nitrati (ma anche degli altri materiali plastici), sbiadimento di pigmenti e coloranti. Già i primi studi svolti dalla Eastman Kodak Co. (1985)[16] e da Reilly (1986)[17] negli anni Ottanta, confermati anche da Severson (1986)[18], avevano definito che l'evidenza maggiormente riscontrata dovuta all'influenza della luce è la perdità di densità, visivamente percepibile come *fading*.

Tra i materiali ad immagine argentica, le albumine sono quelle più soggette a fenomeni di fotossidazione a causa della luce ultravioletta, con conseguente ingiallimento[19]; queste stampe sono infatti predisposte alla nota reazione di Maillard che si verifica quando l'albume è soggetto a radiazioni luminose in presenza di umidità. Anche il legante collodio può manifestare danni dopo una prolungata esposizione alle radiazioni che si presentano come crettature[20]. Il deterioramento si evidenzia altresì sui materiali non argentici come le stampe a base di composti ferrici (es. cianotipo) che subiscono ugualmente lo stesso effetto delle stampe albuminate, come cita Reilly[21].

In uno studio condotto da Ali *et al.* (2012)[22] sono stati analizzati campioni di stampe alla gelatina in bianco e nero esposti all'azione della radiazione luminosa e degli UV (nonché a gas ossidanti); i risultati hanno evidenziato che tali agenti non influiscono direttamente sull'argento dell'immagine, ma possono provocare la decomposizione delle proteine dell'emulsione.

In un altro lavoro di Shaheen *et al.* (2019)[23] è stata indagata la variazione delle caratteristiche cromatiche di campioni di carte fotografiche in bianco e nero a sviluppo sottoposti ad invecchiamento artificiale (a condizioni controllate per 15 giorni) e successivamente ad esposizione agli UV. Mediante indagini al SEM e spettroscopiche (FTIR-ATR, XRF), sono stati studiati gli effetti di tali trattamenti. I risultati hanno mostrato che l'energia emanata dagli ultravioletti sulla superficie dell'immagine comporta scolorimenti, sbiadimenti e ingiallimenti e perdita di dettagli. Meno evidenti sono gli effetti sul supporto cartaceo, come ad esempio una leggera riduzione della resistenza alla trazione, anche se tali danni potrebbero aumentare nel tempo.

Il danno maggiore è determinato dagli agenti ossidanti (vedi Capitolo 6). Inoltre gli alogenuri d'argento residui (come quelli presenti nelle stampe che non hanno subito un corretto fissaggio), che rimangono sensibili alla luce, si accumulano e possono essere poi fotossidati causando colorazioni o ulteriori reazioni a discapito dell'immagine[24].

Lo strato di polietilene delle prime carte rivestite con resina (*resin coated* – RC), è suscettibile di fenomeni di *cracking* specialmente se esposto agli UV o se esposto per lunghi periodi di tempo alle radiazioni luminose.

Danni importanti sono rivolti alle fotografie a colori e soprattutto alle stampe cromogeniche che rappresentano la quasi totalità di tutto il materiale a colori prodotto in fotografia. I coloranti dei materiali a sviluppo cromogeno, positivi su carta baritata, carta RC, o pellicole, possono subire una degradazione irreversibile a causa della luce (*light fading*) caratterizzata da un decadimento a livello del grado d'intensità del colore; la perdita di qualità dell'immagine e del contrasto sono soprattutto visibili nelle alte luci. Il fenomeno di fotossidazione indotto dai raggi UV e dalla luce visibile causa la rottura delle molecole di colorante dando origine a prodotti incolori oppure cromofori. I coloranti azometinici si rivelano instabili sia alla luce sia al buio e il



Fig. 5.1

Stampa a sviluppo cromogeno degli anni Sessanta con tipica dominante rossa accentuata

danno, causato da valori termoigrometrici elevati, si manifesta gradualmente. Stampe su carta, diapositive e negativi su pellicola, sono interessati allo stesso modo dal *light fading*.

Lo sbiadimento si manifesta e procede anche quando le fotografie sono conservate al buio: *dark fading*[25]. Il termine descrive vari tipi di sbiadimento/variazione dei colori delle emulsioni che avvengono appunto in assenza di luce.

Le reazioni chimiche coinvolte nello sbiadimento al buio sono governate dalla temperatura e, in misura minore, dall'umidità relativa: i tassi di sbiadimento al buio sono circa il doppio per ogni aumento di temperatura di 6°C[26]. Il *dark fading* ha interessato la quasi totalità del patrimonio cromogeno prodotto fra gli anni Cinquanta e Ottanta; le immagini deteriorate possono tendere al rosso-bruno, con perdita dei dettagli. Per quanto riguarda il colorante ciano utilizzato dalla Kodak, ad esempio, esso risulta meno sensibile alla luce ma più sensibile al deterioramento nell'oscurità. L'effetto finale è un'immagine dalla dominante rossa più o meno accentuata[27] (figg. 5.1–5.3).

Il tasso di sbiadimento dei diversi coloranti porta ad uno squilibrio visivo: le stampe possono sbiadirsi in un colore bluastro, magenta o giallo (fig. 5.4). Uno o due coloranti possono essere meno stabili rispetto agli altri, con il risultato che uno di essi predomina.

I processi di deterioramento dei materiali a colori sono quindi legati principalmente al decadimento dei coloranti presenti nello strato immagine, manifestazione che si rivela anche nelle stampe digitali, soprattutto per quelle costituite da coloranti (di riferimento è lo studio condotto dall'IPI – DP_3 Project)[28]. Le immagini a base di colorante a getto d'inchiostro e le stampe cromogeniche sono generalmente tra i processi a colori più sensibili alla luce. In linea di massima la maggior parte delle fotografie del XIX secolo, in particolare le prime di natura sperimentale, potrebbero non risultare adatte ad essere esposte, come è possibile ricavare anche dalle tabelle del paragrafo precedente[29].

La velocità di decolorazione è spesso diversa per i differenti coloranti e per le varie pellicole[30]. Le diapositive Kodachrome (immesse nel 1935, non contengono nell'emulsione i copulanti chimici che sono aggiunti nello sviluppo cromogeno) sono decisamente più stabili delle Ektachrome (introdotte nel 1946, a copulanti incorporati), però sbiadiscono nel momento in cui vengono esposte per tempi prolungati alla luce. Le Ektachrome sono più stabili, invece, alla luce prolungata[31]. Tra i materiali cromogeni invertibili le Fujichrome risultano essere le meno soggette a variazioni cromatiche. I negativi Kodacolor (introdotti nel 1942) sono interessati da ingiallimenti e dalle tipiche dominanti.



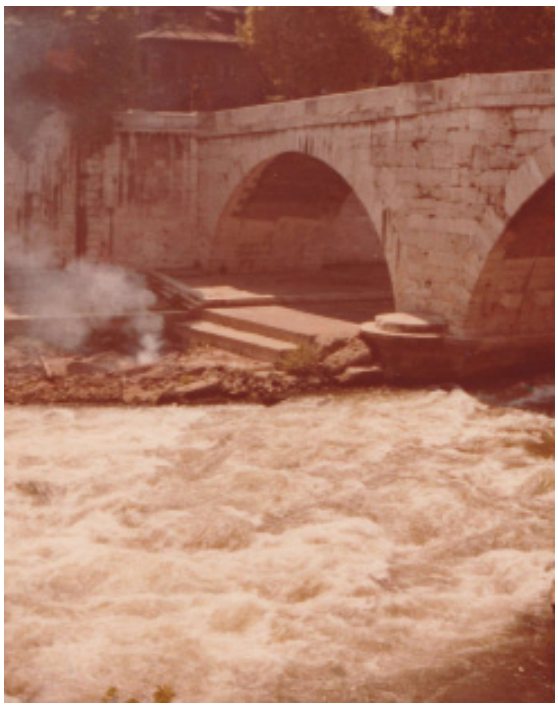


Fig. 5.2

Stampa a sviluppo cromogeno politenata Kodak della fine degli anni Settanta con dominante rossa (in alto a sn)

Fig. 5.3

Stampa a sviluppo cromogeno politenata Kodak degli inizi degli anni Ottanta con inizio di dominante rossa (in alto a dx)

Fig. 5.4

Stampa a sviluppo cromogeno degli anni Settanta con dominante gialla (in basso)

Henry G. Wilhelm, tra i fondatori nel 1995 del Wilhelm Imaging Research (società americana con esperienza nella permanenza dei materiali fotografici e digitali) insieme a Carol Brower, nel testo "The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides, and Motion Pictures", affrontano le problematiche derivanti dal *dark* e *light fading* sui vari materiali fotografici. Gli autori confermano, infatti, che lo sbiadimento delle immagini Ektacolor, Fujicolor,



Konica Color, Agfacolor e di molti altri materiali da stampa a colori è causato principalmente dalla luce visibile e non dalla radiazione ultravioletta. I materiali a distruzione di coloranti (Cibachrome della Ciba-Geigy – 1963), che non presentano un rivestimento efficace sopra l'emulsione per l'assorbimento ultravioletto, devono essere protetti dal rapido sbiadimento anche se risultano più resistenti rispetto ai materiali cromogeni. Altresì le stampe Kodak Dye Transfer, non dotate di un rivestimento anti-UV, possono sbiadirsi rapidamente in condizioni di elevata presenza di UV.

Molte fotografie poi, più recenti, contengono sbiancanti ottici che emettono fluorescenza quando sono sottoposti a radiazioni nell'intervallo 397-400 nm, in questo caso gli sbiancanti svaniscono e tendono a scolorire. Inoltre le vernici protettive, sia organiche che inorganiche, utilizzate ampiamente per rivestire molte immagini dell'Ottocento, manifestano allo stesso modo, ingiallimento, imbrunimento nonché cristallizzazione e quelle sintetiche anche *crosslinking*. Le fotografie colorite manualmente altrettanto vanno incontro a variazioni di colore e in generale a sbiadimenti legati alla natura del colore applicato. Altresì gli sbiancanti ottici introdotti verso la metà del Novecento possono perdere la loro proprietà fino ad esaurisi[32].

Per quanto riguarda le stampe digitali, soprattutto le *inkjet* — le più diffuse — sono state nel tempo migliorate progressivamente dai fabbricanti di carte per garantirne una maggiore stabilità nel tempo.

Infine, da tenere in considerazione anche i montaggi di dagherrotipi, ambrotipi, ferrotipi, o altre tipologie di montature; le fonti di illuminazione esterne e quindi l'emissione di calore radiante, possono creare uno squilibrio tra temperatura interna ed esterna e dare origine a fenomeni di condensa che possono rivelarsi dannosi.

La fotostabilità delle fotografie dipende quindi, oltre che dalle caratteristiche delle radiazioni (intensità, lunghezza d'onda, durata), da:

- natura dei vari materiali che le compongono (strato fotosensibile, supporti, leganti, pigmenti, coloranti, vernici ecc.);
- azione di eventuali catalizzatori (metalli pesanti o di transizione, enzimi prodotti da microrganismi, particolato atmosferico ecc.);
- impurità presenti nella fabbricazione (plastificanti, colle e collanti, lignina ecc.);
- qualità del procedimento fotografico.

Quest'ultimo fattore rappresenta una delle più importanti cause di degradazione delle immagini fotografiche in bianco e nero, soprattutto in presenza di fissaggi non adeguati dove i residui di alogenuro d'argento per azione della luce provocano l'ingiallimento dell'immagine[33].

È nota la tendenza all'ingiallimento delle stampe all'albumina[34] dove il legante per effetto della luce subisce una fotossidazione con formazione di gruppi cromofori (gruppi insaturi coniugati che impartiscono colorazione ad una sostanza) nella molecola proteica; si ha, invece, un fenomeno di decolorazione e cambiamento di tonalità dell'intera immagine quando i gruppi cromofori dei coloranti organici, utilizzati nei processi cromogeni, subiscono fotolisi o fotossidazioni trasformandosi in composti non cromofori (es. in gruppi carbossilici).

Da considerare anche il calore generato dall'illuminazione ad esempio di apparecchiature come quella degli stereomicroscopi (fig. 5.5) utilizzati per studiare la superficie di una fotografia. Tali strumenti sono in grado di comportare nell'immediato deformazioni temporanee ma che, se ripetute nel tem-



Fig. 5.5

Stampa all'albumina, priva del cartone di supporto, deformata dal calore generato dall'osservazione al microscopio

po, possono accelerare la formazione di crettature o peggiorare lo stato di quelle già esistenti.

Da questi pochi e appena accennati esempi di danni, che possono essere provocati da reazioni fotochimiche, si evidenzia quanto sia fondamentale nell'azione conservativa, contenere e controllare strettamente tutte le componenti quali-quantitative legate all'energia radiante.

La scelta di idonee sorgenti di luce, la misurazione delle grandezze radiofotometriche attraverso strumenti sensibili alle specifiche lunghezze d'onda, la regolazione dell'intensità luminosa, la riduzione dei tempi di esposizione ed eventualmente l'adozione di opportuni sistemi (quali filtri, deflettori e pellicole che non interferiscono con la visione) al fine di eliminare riflessi e radiazioni indesiderate che contribuiscono al deterioramento, comporterà una notevole riduzione dei rischi rendendo meno deleterio esporre originali fotografici.

5.4 Misura delle radiazioni

Ai fini della conservazione ci sono molti elementi che determinano la scelta di un sistema di illuminazione e lo studio dell'impatto delle radiazioni sui manufatti deve contemplare:

- numero, posizione e tipologie delle sorgenti luminose presenti;
- radiazione riflessa o diffusa dagli oggetti e dalle pareti dell'ambiente conservativo;
- spettro della radiazione emessa dalle sorgenti luminose;
- calore sviluppato;
- livello di esposizione;
- tempo di esposizione;
- costanza o variazione dell'irraggiamento nel tempo;
- attitudine del materiale a deteriorarsi a diverse lunghezze d'onda;
- individuazione dei potenziali danni dovuti ad un eccessivo illuminamento;
- individuazione di metodologie volte a minimizzare il rischio di alterazione dei materiali interessati.

La progettazione del rilevamento di questi dati dipende molto dalle caratteristiche intrinseche della sorgente luminosa, tuttavia la durata della campagna di misura deve essere sufficientemente lunga affinché si possano ottenere dei dati rappresentativi e significativi del "comportamento" della

sorgente stessa.

Lo strumento principe per la misura dell'illuminamento nel campo visibile è il luxmetro; con il fotoradiometro si misurano le intensità di tutte le radiazioni (UV, IR, Vis) emesse dalle sorgenti e/o ricevute dalla superficie dell'opera. Le misurazioni di illuminamento e di irradianza si eseguono ponendo il sensore, specifico per le lunghezze d'onda da controllare, pressoché a contatto e parallelo alla superficie del materiale, in modo che la radiazione da misurare colpisca il sensore e l'opera con intensità e angolo d'incidenza identici. Il luxmetro fornisce dati quantitativi in lux e nei suoi multipli e sottomultipli; il rivelatore, incorporato allo strumento oppure collegato tramite cavo, è una fotocellula (fotodiodo) dotata di un elemento sensibile, in genere al silicio, che trasforma la luce in segnale elettrico calibrato alla stessa sensibilità dell'occhio umano. Il fotometro universale effettua anche misure di luminanza, fattori di riflessione e di trasmissione, angoli solidi ecc.; alcuni fotometri sono dotati di accessori speciali per la misura delle componenti UV e IR contenute nel flusso luminoso della sorgente.

Gli strumenti, così come le opere esposte, devono ricevere esclusivamente il tipo e la quantità di luce proveniente dalla sorgente illuminante; altre sorgenti luminose (luce naturale e riflessioni – luce parassita) presenti nell'ambiente, oltre a creare effetto cumulativo e aumentare il rischio di deterioramento, possono essere origine di errori nella misura.

I fotoradiometri, misuratori combinati di radiazioni visibili, ultraviolette e infrarosse, sono dotati di fotodiodi intercambiabili con trasduttori specifici per gli intervalli di lunghezza d'onda. Essi misurano grandezze fotoradiometriche nelle regioni spettrali visibile (400–700 nm), vicino IR (745–815 nm), UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm). Diversamente da quelli analogici, gli strumenti elettronici hanno cambio di scala e riconoscimento delle bande automatico, inoltre possono essere collegati a sistemi di acquisizione dati oppure avere un datalogger incorporato; questi modelli consentono di trasferire le misure ad un PC e calcolare medie, massimi e minimi. L'estensione dei campi spettrali e di misura, la precisione, la linearità di risposta, la risoluzione, l'accuratezza, possono variare in relazione alle tecnologie applicate e ai modelli disponibili nelle diverse versioni. Le misurazioni fotoradiometriche dovrebbero essere accompagnate da valutazioni quantitative non distruttive, per evitare che le superfici dei beni non abbiano subito alterazioni a seguito di esposizione alla luce e per confrontare la reazione alla luce delle diverse tipologie di materiali fotografici. Esistono strumentazioni dotate di elementi sensibili in grado di misurare valori di densità e colore delle immagini e loro modificazioni.

Di riferimento per i rilievi spazio-temporali dell'illuminamento e della quantità di radiazione ultravioletta è la UNI 10829:1999, già citata. La norma precisa che per l'illuminamento solo artificiale è sufficiente misurare una sola volta l'illuminamento orizzontale su un piano posto ad una altezza di 0,8 m dal pavimento, suddividendo il piano in una griglia orizzontale di lato 1 m. I nodi di questa griglia sono i punti di misurazione. Le misurazioni devono essere effettuate 15 min dopo l'accensione degli apparecchi. Per l'illuminazione sia naturale che artificiale si deve procedere nelle ore centrali di una giornata luminosa con impianto di illuminazione spento e nelle ore notturne o con luce naturale oscurata e con illuminazione artificiale accesa. Per le misurazioni in continuo si deve individuare la zona in cui l'illuminamento naturale risulta >20% di quello artificiale. In questa zona si devono individuare 4 aree caratterizzate dai seguenti illuminamenti: $E \leq 50$ lx; $50 \leq E \leq 150$ lx; $150 \leq E \leq 300$ lx; $E > 300$ lx.

Per la componente ultravioletta ci si deve posizionare davanti alla sorgente, in una giornata serena, ed effettuare la misurazione una sola volta. Inoltre la norma suggerisce di calcolare anche l'indicatore di scostamento dell'illuminamento, della dose di luce e della radiazione ultravioletta, definito come la percentuale di tempo in cui la grandezza in esame si mantiene al di fuori del campo prescelto ritenuto accettabile e che costituisce una misura del rischio cui sono soggette le collezioni.

Per la misurazione delle grandezze di illuminazione e le raccomandazioni sui livelli di illuminamento minimo e massimo accettabile, può essere utile anche la specifica tecnica UNI CEN/TS 16163:2014[35] che definisce le procedure e i mezzi per produrre un'illuminazione adatta al fine di tutelare i beni, tenendo conto degli aspetti estetici, espositivi e conservativi. La norma mira a sviluppare linee guida comuni per curatori, *lighting designer*, architetti ecc., cercando di fornire indicazioni utili per garantire una fruizione sostenibile entro certi limiti accettabili di danno. Un altro importante rapporto tecnico che interessa questa tematica è la CIE 157/2004: "Control of damage to museum objects by optical radiation", redatta nel 2004, precedentemente citata.

Tra i vari strumenti a disposizione, utile si rivela il densitometro che misura il grado di annerimento di un materiale, la densità ottica (oggi denominata assorbanza) di negativi e positivi fotografici: effettua dunque una misura della quantità di luce che viene assorbita da una superficie. Esistono in commercio modelli che effettuano misure in trasmissione, riflessione o in ambedue le modalità. Tali misure richiedono una certa attenzione, infatti, la verifica di eventuali affievolimenti delle immagini nel tempo è effettuata per comparazione di misure eseguite negli stessi punti prima dell'esposizione a fonti luminose, avendo avuto cura di scegliere inizialmente zone a diverso annerimento[36]. Il monitoraggio delle variazioni delle modifiche ottiche consente di valutare se si sono verificati processi di degradazione.

Per le immagini a colori, il rilievo strumentale consente di valutare in modo oggettivo, riproducibile e quantitativamente accurato un colore, sfruttando spazi colore assoluti, cioè indipendenti dai dispositivi in uso. Le strumentazioni di più frequente utilizzo sono il colorimetro e lo spettrofotometro, che analizzano la luce riflessa da una superficie, cioè più precisamente il fattore di riflettanza diffusa, definito come il rapporto percentuale fra l'intensità della luce riflessa dalla superficie, in modo non speculare, e l'intensità della luce incidente. Lo spettrofotometro lavora a contatto con un punto della superficie di cui fornisce la curva (spettro) della riflettanza diffusa nella banda del visibile. Da questa curva, con un procedimento di integrazione numerica, eseguito automaticamente dal processore interno allo strumento, si deduce subito la misura delle tre coordinate cromatiche (es. XYZ o Yxy o L*, a*, b* dove L* sta per luminosità o intensità, a* per tinta o tono e b* per saturazione).

Il colorimetro funziona sulla base della legge di Beer-Lambert, relazione empirica che correla la quantità di luce assorbita da un mezzo alla natura chimica, alla concentrazione e allo spessore del mezzo attraversato. Il colorimetro offre la possibilità di misurare con precisione le coordinate di colore rilevando eventuali decolorazioni, perdite di saturazione, ingiallimenti, sviluppo di dominanti, alterazioni tutte correlate all'esposizione alla luce, o meno, ricordando che esse possono avvenire anche al buio.

Lo spazio colorimetrico Yxy, sulla base dei cosiddetti valori tristimolo XYZ, fu stabilito nel 1931 dalla Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) dopo esperimenti condotti dagli scienziati inglesi William David Wright

e John Guild. In seguito si definì lo spazio colore Lab o CIELAB o CIE 1976. Di riferimento è la norma ISO/CIE 11664-4:2019[37] che specifica il metodo per il calcolo delle coordinate dello spazio colore L* a* b* CIE 1976, incluse le correlazioni tra luminosità, saturazione e tinta. I tre parametri permettono di capire rispettivamente se un colore è più chiaro o più scuro di un altro, se un colore è un rosso, un giallo, un blu ecc. e se un colore è più o meno intenso di un altro. Nel sistema L* a* b* ogni colore è rappresentato da un punto nello spazio cromatico: un incremento di L* indica un aumento della luminosità del colore; un incremento di b* sposta la tinta verso il giallo, al contrario una sua diminuzione la sposterà verso il blu. Analogamente un incremento della coordinata a* sposterà la tinta verso il rosso, mentre una sua diminuzione la porterà verso il verde.

Quindi, studiando l'andamento delle coordinate colorimetriche, è possibile valutare l'entità di eventuali alterazioni nella solidità cromatica evidenziando nel caso della cellulosa (stampe su carta) fenomeni quali imbrunimenti e/o ingiallimenti. Tali modifiche sono imputabili alla formazione di gruppi cromofori formatisi in seguito a processi di degradazione di tipo ossidativo.

La solidità del colore di una stampa si può definire quindi come la proprietà di opporsi allo stingimento e alle variazioni di colore in seguito all'esposizione ad agenti chimico-fisici, come le radiazioni luminose. In particolare, quando si rileva un aumento dei valori della coordinata b* (campo positivo) si avranno fenomeni di ingiallimento, diversamente una diminuzione dei valori della coordinata L* è correlabile con fenomeni di imbrunimento del materiale che ha ricevuto la sorgente di radiazioni; solo con la valutazione complessiva dei tre valori L* a* b*, è possibile stabilire se si sia verificata o meno una variazione di colore.

Le misure possono essere effettuate altresì con software specifici dopo digitalizzazione del materiale, come ad esempio con il noto programma Adobe Photoshop prodotto dalla Adobe Systems Incorporated, specializzato nell'elaborazione di fotografie (fotoritocco) e più in generale di immagini digitali. In questo caso i materiali devono essere digitalizzati insieme a campioni di riferimento (come la "Kodak Gray Scale" e la "Kodak Color Control Patches" (fig. 5.6) la cui cromaticità e riflettanza sono ritenute invariabili nel tempo.

La dose di esposizione alla luce è misurata con metodi comparativi che consentono di apprezzare la quantità di luce ricevuta da un oggetto nel corso della sua esposizione anche in presenza di bassi valori di illuminamento. Il tradizionale sistema di dosaggio a campioni normalizzati di lana blu, risultava piuttosto difficoltoso data la bassa sensibilità del metodo[38]. Successivo è il prodotto scaturito dal progetto "Un misuratore di luce per il controllo del patrimonio culturale. Sviluppo, test e commercializzazione", sviluppato all'interno di: "The City of Tomorrow and Cultural Heritage" (finanziato dalla Commissione europea a cui ha preso parte, tra i vari partners, anche l'Istituto di fisica applicata "Nello Carrara" del CNR di Firenze)[39]. Si tratta del dosimetro LightCheck® che consiste in un supporto ricoperto da un rivestimento sensibile alla luce. Posto nelle immediate vicinanze dell'oggetto da monitorare, in posizione tale da ricevere lo stesso illuminamento per la medesima durata di tempo, il dosimetro è concepito in modo tale che il suo colore vari proporzionalmente alla dose di esposizione luminosa. Una scala di riferimento colorimetrica comparativa rende possibile trasformare la variazione di colore di LightCheck® in unità codificate dette ELE (Equivalente di Esposizione Luminosa)[40].



Fig. 5.6

Stampa colorita manualmente all'anilina degli anni Trenta del Novecento con riferimenti cromatici: KODAK Gray Scale (versione: 1997 Q14 Eastman Kodak Gray Scale) e KODAK Color Control Patches (versione: 1997 Q14 Eastman Kodak Color Control Patches) utili come riferimento sia per la densità sia per la lettura dei toni e dei colori

5.5 Qualità delle radiazioni

In ambito conservativo non è sufficiente conoscere i parametri quantitativi di intensità e durata dell'illuminamento, ma anche gli aspetti qualitativi delle radiazioni emesse dalle sorgenti e quindi ricevute dalle opere. La protezione dalla fotodegradazione si realizza soprattutto attraverso una ponderata scelta delle sorgenti illuminanti che può essere orientata al meglio quando il conservatore è consapevole di quali prerogative della luce e delle sorgenti siano compatibili con i materiali e con il loro stato di conservazione (in relazione alla quantità e alla durata dell'esposizione).

L'uso di filtri, temporizzatori (sistemi di accensione temporizzata convenzionalmente denominati circuiti *soft-start*), rilevatori di movimento (per accendere le luci solo su richiesta – *light on demand*), sistemi progressivi di accensione, di altri accorgimenti tecnologici e l'impiego di sistemi illuminanti innovativi, come le fibre ottiche e i LED, hanno reso possibile negli ultimi anni la riduzione o la limitazione delle emissioni dannose e, conseguentemente, i loro effetti a carico delle vulnerabili superfici dei materiali fotografici e di altri beni tutelati.

Le principali caratteristiche qualitative dell'emissione luminosa sono: la temperatura di colore, l'indice di resa cromatica e la distribuzione spettrale.

Per definizione la temperatura di colore è la temperatura (in gradi Kelvin) a cui occorre portare un corpo nero affinché emetta radiazioni con caratteristiche cromatiche eguali o simili alla sorgente in esame. Luci rossastre (per esempio le lampade a incandescenza) corrispondono a bassa temperatura di colore, mentre è alta quella delle luci bluastre.

La temperatura di colore determina la tonalità della sorgente:
1. tonalità calda – TC <3.300 K;
2. tonalità neutra – 3.300< TC <5.300 K;
3. tonalità fredda – TC >5.300 K.

Le accezioni "luce calda" o "luce fredda", spesso origine di equivoci, si riferiscono dunque alla tonalità cromatica dell'emissione luminosa e non alla temperatura della sorgente. La temperatura di colore è specificata nelle schede tecniche che accompagnano gli apparecchi illuminanti.

L'indice di resa cromatica (IRC) misura di quanto una sorgente sia capace di rendere il colore dell'oggetto che illumina. L'IRC è un valore numerico, compreso tra 0 e 100, che si ricava valutando le differenze cromatiche di colori standard illuminati con la sorgente esaminata rispetto ad una di riferimento a cui si attribuisce l'indice 100. Si considera ottima la resa cromatica di una sorgente con IRC compreso tra 100 e 85, mentre si ritengono rispettivamente buoni e accettabili gli indici di resa cromatica con valori tra 85 e 70 e tra 70 e 50, valori al di sotto di 50 non sono considerati sufficienti, in ambito espositivo. Nell'illuminazione di materiali a colori è determinante scegliere una sorgente ad elevato IRC; tale fattore assume minore importanza se gli oggetti da esporre sono monocromatici.

La distribuzione spettrale è l'insieme delle lunghezze d'onda specifiche dell'emissione della sorgente luminosa; essa è rappresentata graficamente da una curva che mostra la composizione dello spettro e la potenza radiante emessa dalla fonte per ogni lunghezza d'onda o per bande di emissione (in caso di emissione discontinua).

Nell'ambito della conservazione è importante conoscere la distribuzione spettrale delle sorgenti utilizzate, al fine di evitare o schermare opportunamente radiazioni indesiderate incompatibili con i materiali da esporre. Se la distribuzione spettrale di una sorgente è incompleta o non equilibrata, nelle intensità relative alle varie regioni dello spettro, non consentirà di vedere tutti i colori oppure essi risulteranno alterati. Generalmente le sorgenti con spettri continui (lampade ad incandescenza e luce naturale) producono una minore alterazione del colore (alto IRC) rispetto a quelle con emissioni lineari o a bande (lampade fluorescenti, led).

I tre parametri considerati: TC, IRC e distribuzione spettrale, sono strettamente correlati, infatti se una sorgente è priva di alcune lunghezze d'onda o se presenta picchi d'intensità in alcune regioni spettrali ne risulteranno influenzati sia la temperatura di colore, sia l'indice di resa cromatica.

5.6 Le sorgenti luminose

Il progresso dell'illuminotecnica anche in ambito museografico offre oggi un vastissimo panorama di sorgenti luminose con innumerevoli modelli di lampade; una conoscenza, seppure sommaria, di alcune specifiche caratteristiche può essere d'aiuto ai fini di una informata scelta conservativa.

La luce naturale La luce naturale giunge sulla superficie terrestre da due sorgenti: il Sole (componente diretta della radiazione) e la volta celeste (componente diffusa della radiazione). Si può parlare di luce diretta (dal Sole), diffusa (dal cielo) e globale, somma delle due componenti. L'emissione solare che raggiunge la Terra è concentrata nell'intervallo di lunghezza d'onda compreso fra 200 nm e 2,5 mm ed è suddivisa nello spettro secondo le

seguenti percentuali: ultravioletto circa 10%, visibile 45%, infrarosso 45%[41].

Nelle esposizioni, la luce naturale, ancorché variabile a seconda delle ore, delle stagioni e della nuvolosità, per gli effetti di riscaldamento, di abbagliamento, di riflessione e per l'apporto di radiazioni indesiderate, non dovrebbe penetrare o essere estremamente contenuta proprio per consentire un rigoroso controllo della quantità e della qualità delle radiazioni a cui sono esposte le opere.

Come già illustrato, sebbene negli ambienti confinati i vetri comuni non lascino passare radiazioni ultraviolette di lunghezza d'onda inferiore a 320 nm[42], essi non rappresentano, tuttavia, una sufficiente protezione per le opere; un limite alla penetrazione di luce solare può essere ottenuto applicando appositi tendaggi filtranti o oscuranti a finestre e lucernari (cosiddetti "tessuti tecnici") o apponendo filtri, pellicole e altri dispositivi schermanti, in grado di eliminare o minimizzare le componenti ultravioletta e infrarossa e attenuare la luce visibile. Le pellicole filtranti UV flessibili, che si utilizzano anche su vetrine espositive ecc., aderiscono al vetro, all'acrilico o al policarbonato. I filtri possono essere chiari o colorati (filtrando anche la luce visibile). A proposito dei filtri, Wilhelm (1993)[43] suggeriva l'uso di fogli acrilici con filtro ultravioletto (UV) quali Lucite® SAR 1103 e 1104 della Dupont, UF-3 e UF-4 Plexiglas® della Rohm and Haas e Acrylite OP-2 della Cyro Industries. Le pellicole che riducono anche il calore e l'abbagliamento sono prodotte da diverse case specializzate. L'impiego di pannelli acrilici e vetro stratificato con un film di assorbimento dell'ultravioletto rappresentano ulteriori opzioni per ridurre le radiazioni ultraviolette rispetto all'utilizzo di pellicole da applicare alle finestre. L'efficacia del filtraggio a lungo termine può essere monitorata controllando periodicamente con un misuratore di luce ultravioletta.

Le luci artificiali Molte sorgenti luminose artificiali emettono calore sotto forma di radiazioni infrarosse. Il calore può essere trasmesso dall'esterno attraverso le superfici trasparenti delle teche (vetro, metacrilato e policarbonato trasmettono l'IR fino ad una lunghezza d'onda di 3 μ[44]) o ancora può essere sviluppato dalle luci poste all'interno rimanendo intrappolato quanto più la struttura sarà isolata ed ermetica. Ciò causerà un progressivo incremento di temperatura interna (effetto serra) con le note conseguenze[45]. Per tale motivo tutti i punti caldi devono essere identificati ed evitati.

Nella progettazione dei sistemi di illuminazione si deve prevedere lo spegnimento manuale o automatico quando non vi è necessità.

Le sorgenti di luce artificiale hanno caratteristiche geometriche (forma, dimensioni, attacchi), elettriche (potenza, tensione di alimentazione), di performance (durata, prestazioni, effetti) e qualitative (distribuzione spettrale, colore, resa cromatica) molto diversificate e specifiche; quelle maggiormente diffuse in musei, archivi, biblioteche, comprese quelle di più recente introduzione, si possono racchiudere nelle seguenti principali categorie di seguito riassunte.

Lampade a incandescenza Furono messe in commercio nel 1879 da Thomas Edison. La luce viene prodotta da un filamento di tungsteno riscaldato ad alta temperatura, posto all'interno di un bulbo di vetro in cui si sia fatto il vuoto oppure contenente gas inerte.

L'emissione luminosa ha una temperatura di colore tra 2.300 e 2.500 K, l'indice di resa dei colori è 100, lo spettro di emissione è continuo ma ricco di radiazioni IR dovute al surriscaldamento del tungsteno; sono invece trascurabili le radiazioni UV. Proprio perché gran parte della potenza consumata viene dissipata sotto forma di calore, l'efficienza luminosa è piuttosto bassa

(10 lm/W). Il rapido consumo del filamento rende piuttosto limitata la durata di queste lampade (circa 1.000 ore). Il loro utilizzo per l'illuminazione di materiali fotosensibili è consigliabile solo a condizione che le lampade siano posizionate all'esterno di vetrine ed espositori e che nelle sale siano garantiti un sufficiente ricambio d'aria nonché un adeguato raffrescamento per dissipare e compensare il calore prodotto ed evitare una eccessiva disidratazione dei materiali esposti.

Ne è stata vietata la commercializzazione di alcuni tipi in Italia e UE dal 1 settembre 2012.

Lampade a incandescenza alogene Sono state introdotte intorno al 1950 per superare i limiti delle tradizionali lampade ad incandescenza, cioè la bassa efficienza e la breve durata di vita.

I limiti iniziali di queste lampade, cioè l'emissione di raggi ultravioletti e l'eccessivo riscaldamento della lampada, sono stati superati. Rappresentano, quindi, una evoluzione delle precedenti essendo ottenute aggiungendo all'interno del bulbo tracce di un elemento alogeno (generalmente iodio). L'alogeno si combina con i vapori di tungsteno che evaporano dal filamento formando l'alogenuro di tungsteno il quale a sua volta, in prossimità del filamento, si decompone con rideposizione del metallo sul filo (ciclo alogeno). Il filamento, che quindi si consuma meno, può così essere mantenuto ad una temperatura superiore (TC 3.300 K) tale da implicare l'uso del quarzo per il bulbo. La resa cromatica è pari, la durata raddoppia, il flusso luminoso è in genere regolabile e l'efficienza luminosa migliora (circa 25 lm/W) rispetto alla lampada ad incandescenza tradizionale, ma all'elevato sviluppo di calore si aggiunge una consistente emissione nell'UV (a cui il quarzo è trasparente). Alcuni modelli sono dotati di filtri anti-UV in vetro speciale e riflettori dicroici che convogliano verso il retro il calore prodotto; sebbene molto diffusi nei musei per l'illuminazione di pannelli, percorsi e testi, non sono consigliabili all'interno di vetrine o nelle immediate vicinanze di opere fotosensibili e igroscopiche[46].

Dal 1 settembre 2018 alcuni tipi sono stati banditi in base al regolamento sulla progettazione eco-compatibile.

Lampade fluorescenti Prive di filamento, rientrano nella categoria delle sorgenti a scarica; sono chiamate comunemente lampade al neon, in realtà contengono piccole quantità di mercurio, gas nobili (Ne, Ar, Xe, Kr, N_2) e materiali fluorescenti (sali di fosforo) racchiusi all'interno di un tubo di forma lineare, circolare, variamente sagomato o compatto (lampade a basso consumo). L'emissione luminosa viene prodotta da una scarica elettrica che eccita gli atomi di mercurio i quali emettono una radiazione UV (253,7 nm), tale radiazione colpisce i "fosfori" depositati sulle pareti interne del tubo che trasformano, per fluorescenza, la radiazione UV in radiazione visibile. La perdita di energia che avviene in questo passaggio si manifesta sotto forma di calore inducendo riscaldamento del tubo. A seconda del materiale fluorescente le lampade possono produrre una luce calda o fredda con TC rispettivamente bassa o alta, l'IRC è compreso tra 52 e 85[47]. I vantaggi di questi apparecchi sono una notevole durata (8.000-10.000 ore) ed una efficienza luminosa almeno quadrupla rispetto alle lampade ad incandescenza (>90 lm/W). Tra gli svantaggi sono da indicare: una distribuzione spettrale con livelli elevati di emissioni UV (40-250 μW/lm), per la cui eliminazione è necessario l'uso di filtri, e un eccessivo illuminamento delle superfici, dovuto agli intensi flussi luminosi caratterizzanti queste sorgenti.

Esistono ormai da tempo in commercio lampade fluorescenti con filtro

anti-UV incorporato; sono una soluzione abbastanza economica, praticabile per esposizioni non permanenti anche se l'efficienza anti-UV in queste lampade è limitata dall'esaurimento del filtro.

Per il loro contenuto di mercurio le lampade fluorescenti esauste devono essere smaltite in modo differenziato, come rifiuto pericoloso, secondo la normativa vigente, e ciò incide sui costi di gestione.

Lampade agli alogenuri metallici In questa tipologia di sorgenti a scarica, l'emissione luminosa è prodotta dalla radiazione elettromagnetica di composti gassosi a cui sono aggiunti ioduri metallici o, in alcune varianti, vapori di altri elementi come il sodio o il mercurio; non sono presenti strati fluorescenti. Nelle lampade agli ioduri metallici la temperatura di colore è piuttosto elevata, attorno ai 4.000-5.000 K, la resa cromatica è ottima e la durata si aggira intorno alle 5.000 ore. Per la loro luce bianchissima, le dimensioni compatte e la capacità di generare flussi fortemente concentrati senza richiedere eccessive potenze, questi apparecchi sono particolarmente adatti all'illuminazione di ampi spazi, interni ed esterni. Tuttavia a causa della eccessiva produzione di calore e della elevata emissione di raggi UV, trovano impiego prevalentemente come sorgenti nei sistemi illuminatori a fibre ottiche[48] purché dotati di dispositivi filtranti per gli UV e di ventole per la dissipazione del calore.

Fibre ottiche Piuttosto che vere e proprie sorgenti luminose, costituiscono dei dispositivi di trasporto di onde elettromagnetiche e sono costituite da filamenti di materiali vetrosi o sintetici (polimetilmetacrilati), riuniti in fasci e racchiusi all'interno di guaine polimeriche raccordate ad un collettore comune.

Un sistema di illuminazione a fibre ottiche è costituito da vari elementi: l'illuminatore in cui sono alloggiati sia la sorgente luminosa (alogena, a ioduri metallici o LED) sia i filtri anti-UV e IR, la ventola di raffreddamento, il collettore, i fasci di fibre ottiche e gli elementi terminali. Il flusso luminoso proveniente dalla sorgente attraversa i filtri, si distribuisce nel collettore, si propaga lungo le fibre e fuoriesce dai terminali. In tal modo nei cavi ottici corre praticamente solo luce visibile che viene trasmessa con una ripartizione energetica del flusso luminoso in uscita, molto simile a quella del flusso in entrata erogato dalla lampada. Gli impianti di questo tipo sono sicuri in quanto l'elettricità raggiunge solo l'illuminatore e non l'interno della teca, riducendo i rischi connessi. Un altro grande pregio del sistema è che i fasci di fibre ottiche possono essere posizionati e orientati in modo da illuminare diversi oggetti in vari punti e angolazioni e secondo gli effetti desiderati. Gli svantaggi principali risiedono negli elevati costi e nella necessità di interventi periodici di manutenzione per la pulizia interna degli illuminatori e delle ventole, per il cambio dei filtri e per il cambio delle lampade (in quanto in caso di guasto o spegnimento dell'illuminatore tutti i fasci si spengono contemporaneamente lasciando la teca o le teche, se collegate alla stessa sorgente, al buio). Tali fattori rendono il sistema a fibre ottiche poco conveniente nel caso di esposizioni temporanee.

LED (Light Emitting Diode) Il LED, la cui prima apparizione risale al 1962, è un diodo che, percorso da corrente, emette una radiazione luminosa nel visibile; l'emissione di luce non è associata, a differenza delle altre sorgenti, a emissione di calore. Esattamente, si tratta di un componente elettronico costituito dalla giunzione di due cristalli semiconduttori al silicio.

Il principio su cui si basa il funzionamento di un LED è indicativamente il seguente: i semiconduttori sono cristalli nel cui reticolo alcuni elettroni

hanno possibilità di spostamento lasciando al loro posto una lacuna e determinando così una certa conducibilità elettrica. Aggiungendo al silicio alcune sostanze (cosiddette droganti) capaci di produrre elettroni extra oppure lacune extra, si ottengono rispettivamente semiconduttori di tipo –n o di tipo –p, con grande incremento della conducibilità iniziale. Nel comportamento della giunzione p-n e nella varietà delle sostanze droganti c'è la chiave della tecnologia dei LED luminosi. Al passaggio di corrente, infatti, all'interno dei semiconduttori drogati, si stabilisce un "movimento" di elettroni, che alla giunzione si ricombinano con le lacune, passando ad uno stato energetico più basso e quindi più stabile. Tale "caduta" avviene con rilascio di energia sotto forma di emissione luminosa (elettroluminescenza)[49]. A seconda del drogante aggiunto e della tensione applicata, il LED può emettere radiazioni circoscritte al campo del visibile dal rosso al blu; anche per la luce bianca sono disponibili LED (LED RGB) con tonalità calda, media e fredda (TC tra 2.800 K e 6.000 K) e per quanto riguarda l'IRC esso è compreso tra 30 e 100.

I LED luminosi rappresentano ad oggi la più recente tecnologia in continua evoluzione nei vari aspetti energetici, qualitativi, quantitativi, estetici, economici, di performance. Il loro impiego va sempre più diffondendosi in campo illuminotecnico, anche museale, in sostituzione di sorgenti di luce tradizionali, soprattutto in quanto l'emissione è priva di componenti UV ed IR. Risultano oltremodo interessanti, in tempi in cui il contenimento della spesa e la sicurezza sono fondamentali. Gli elevati rendimenti, i ridotti consumi energetici (in alcuni casi il consumo è fino al 90% in meno rispetto alle lampade alogene), l'alimentazione in bassa tensione, l'assenza di costi di manutenzione e la lunga durata (fino a 50.000 ore), rende questo tipo di tecnologia "ecosostenibile". I LED, come del resto anche altre sorgenti luminose, vengono spesso accoppiati a fasci di fibre ottiche; lo scopo è quello di "canalizzare" la luce, con minime dispersioni in maniera precisa e flessibile, verso siti di diffusione dai quali si possono creare effetti luminosi particolari.

Flash, fotocopiatrici, proiettori e scanners Le sorgenti luminose utilizzate in questi apparecchi sono differenti tra loro per tipologia, per TC, per qualità di radiazioni emesse, per intensità, per calore sviluppato. Il tempo di esposizione degli originali agli apparecchi di riproduzione o di proiezione, è il fattore che riveste il ruolo principale ai fini delle possibilità di deterioramento delle immagini. Il tempo va inteso sia come durata sia come frequenza delle esposizioni a causa del fattore cumulativo del fotodeterioramento. Conviene certamente ridurre al minimo le sollecitazioni anche tenendo conto dello stato di conservazione degli originali, evitare riproduzioni troppo frequenti, non superare le dosi e gli illuminamenti consigliati. Negli anni, la tecnologia per la riproduzione dei fondi documentari, bibliografici e fotografici si è evoluta verso i sistemi di digitalizzazione; al pari delle tecniche di riproduzione, in funzione delle esigenze di conservazione e salvaguardia, si è affinata anche l'attenzione e la cura verso le opere.

Oggi nei processi di digitalizzazione devono essere garantite la sicurezza e la tutela degli originali. Tra i vari tipi di scanner quello planetario – *overhead scanner* (predisposto per riprese dall'alto), utilizzato in genere per grandi formati e per gli album, è provvisto di sistemi d'illuminazione privi di radiazioni dannose: non mette a contatto diretto l'originale con il vetro dell'apparecchiatura e richiede minime manipolazioni delle opere[50]. Ciò è consentito dalla presenza di un piano basculante e da intercapedini in cui poggiare le legature e sensori che permettono ai vetri di effettuare una pressione controllata.

Note alle immagini

Figg. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 riprese fotografiche di Roberto Bianchi.

I materiali fotografici rappresentati nelle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] G. Villari, *Il problema della fotolisi in sede progettuale*, in *Scelte e Strategie per la Conservazione della Memoria. Passati al Futuro*, Atti della Conferenza Internazionale, Dobbiaco (BZ), 25-29 giugno 2002, Centro di fotoriproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato, Archivio di Stato di Bolzano/Staatsarchiv Bozen (eds.), Soveria Mannelli (CZ), Rubbettino Industrie Grafiche ed Editoriali, 2005, pp. 101-107.

[2] M. Missori, *Elementi di tecnica fotografica propedeutici al restauro fotografico*, in *Libri e Documenti. Le Scienze per la Conservazione e il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Gorizia, Biblioteca Statale Isontina, 2007, pp. 537-548.

[3] M*i*BAC, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, D.Lgs n. 112/1998, art. 150, comma 6, Gazzetta Ufficiale n. 244 (supplemento), 19 ottobre 2001, fascicolo 238, Ambito IV, Roma.

[4] B. Lavédrine, *A guide to the preventive conservation of photograph collections,* Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2003.

[5] M*i*BAC 2001, *op. cit.*

[6] SFIIC, Section française de l'Institut international de conservation (IIC), *Cahier des charges pour les expositions de photographies*, in *Eclipse, Bulletin du Groupe Photographie de la SFIIC*, 1, 1996; M*i*BAC 2001, *op. cit.*; B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[7] AIC, *PMG Section 1.4.1 Standards, Guidelines, and Recommendations for Light Levels During Exhibition*, 2020, da: https://www.conservation-wiki.com/wiki/PMG_Section_1.4.1_Standards,_Guidelines,_and_Recommendations_for_Light_Levels_During_Exhibition (consultato il 18/06/2022).

[8] S. Michalski, *Agent of Deterioration: Light, Ultraviolet and Infrared*, Governement of Canada, 2018, da: https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/light.html (consultato il 18/06/2022).

[9] Commission internationale de l'éclairage (CIE), *Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation. CIE Technical Report, 157*, Vienna, Commission internationale de l'éclairage, 2004.

[10] C. von Waldthausen, *Exhibition of photographic materials in library and archive collections*, in *Exhibiting Archival and Library Material and Works of Art on Paper*, 2004, pp. 175-188, da: https://www.academia.edu/4902172/EXHIBITION_OF_PHOTOGRAPHIC_MATERIALS_IN_LIBRARY_AND_ARCHIVE_COLLECTIONS (consultato il 18/06/2022).

[11] M*i*BAC 2001, *op. cit.*

[12] S. Wagner, C. McCabe, B. Lemmen, *Guidelines for exhibition light levels for photographic materials*, in *Topics in Photographic Preservation*, 9, 2001, pp. 127-128.

[13] ISO 18916:2007, *Imaging materials – Processed imaging materials – Photographic activity test for enclosure materials* (reviewed and confirmed in 2015), Ginevra, International Organization for Standardization, 2007.

[14] S. Watkins, D. Severson, *Chapter 1 – Exhibition Guidelines for Photographic Materials*, in *PMG Section 1.4.1 Standards, Guidelines, and Recommendations for Light Levels During Exhibition*, AIC Wiki, 2004, da: http://www.conservation-wiki.com/wiki/PMG_Section_1.4.1_Standards,_Guidelines,_and_Recommendations_for_Light_Levels_During_Exhibition (consultato il 18/06/2022).

[15] M*i*BAC 2001, *op. cit.*

[16] Eastman Kodak Co., *Conservation of Photographs*, Rochester, Eastman Kodak Company, 1985.

[17] J.M. Reilly, *Care and Identification of 19th-Century Photographic Prints*, Rochester, Eastman Kodak Company, 1986.

[18] D. Severson, *The effects of exhibition on photographs*, in *Topics in Photographic Preservation*, 1, 1986, pp. 38-42.

[19] P. Messier, *Protein chemistry of albumen photographs*, in *Topics in Photographic Preservation*, 4, 1991, pp. 124-135.

[20] C. von Waldthausen 2004, *op. cit.*

[21] J.M. Reilly 1986, *op. cit.*

[22] M.A. Ali, M.F. Ali, M.O. Saker, A.A.El B. Abdel Aleem, K.I. El Nagar, *Investigations on the chemical degradation of silver gelatine prints*, in *International Journal of Conservation Science*, 3, 2, 2012, pp. 93-106, da: http://ijcs.uaic.ro/pub/IJCS-12-10-Ali.pdf (consultato il 16/06/2022).

[23] R.A. Shaheen, M.F. Ali, M. Osama Saqr, S.M. Reda, A.M. Labeeb, *Inquisition on the photochemical degradation of silver gelatin photograph print-out*, in *Journal of Interventional Radiology and Nuclear Medicine*, 1, 3, 2019, pp. 58-66, DOI: 10.29199/2637-7152/IRNM.103025.

[24] C. von Waldthausen 2004, *op. cit.*

[25] B. Lavédrine, J.P. Gandolfo, S. Monod, *Les Collections Photographiques. Guide de Conservation Préventive,* Paris, ARSAG, 2000.

[26] G. Hill, *Caring for Photographic Materials*, Government du Canada, 2018, da: https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/photographic-materials.html#a5d1 (consultato il 18/06/2022).

[27] H. Wilhelm, *The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides and Motion Pictures*, con il contributo di C. Brower, Grinnel, Iowa U.S.A., Preservation Publishing Company, 1993.

[28] IPI, *DP_3 Digital Print Preservation Portal*, Image Pemanence Institute, 2019, da: http://www.dp-3project.org/ (consultato il 16/09/2021).

[29] S. Clark, *Photographic Material*, The British Library, London, Preservation Advisory Centre, 2009.

[30] A.R. Calmes, *Relative longevity of various archival recording media*, in *Proceedings of Conservation in Archives, International Symposium, Ottawa, Canada, May 10-12 1988*, Paris, International Council on Archives, 1989, pp. 207-221.

[31] H. Wilhelm 1993, *op. cit.*

[32] C. von Waldthausen 2004, *op. cit.*

[33] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[34] J.M. Reilly 1986, *op. cit.*

[35] UNI CEN/TS 16163:2014, *Conservazione dei beni culturali - Linee guida e procedure per scegliere l'illuminazione adatta a esposizioni in ambienti interni*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2014.

[36] S. Berselli, L. Gasparini, *L'Archivio Fotografico. Manuale per la Conservazione e la Gestione della Fotografia Antica e Moderna*, Bologna, Zanichelli, 2000; L. Residori, *Fotografie. Materiali Fotografici, Processi e Tecniche, Degradazione, Analisi e Diagnosi*, Collana I Talenti, Padova, Il prato, 2009.

[37] ISO/CIE 11664-4:2019, *Colorimetry - Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space*, Ginevra, International Organization for Standardization, 2019.

[38] ISO 105-B08:1995, *Textiles for colour fastness - Part B08: Quality control of blue wool reference materials 1 to 7* (reviewed and confirmed in 2017), Ginevra, International Organization for Standardization, 1995; B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[39] J. Basztura, *The City of Tomorrow and Cultural Heritage, FP5 Projects, Key Action 4*, edition February 2003, pp. 1-356, da: http://docplayer.net/30189755-The-city-of-tomorrow-and-cultural-heritage.html (consultato 18/06/2022).

[40] M. Bacci, C. Cucci, A-L. Dupont, B. Lavédrine, C. Loisel, S. Gerlach, H. Roemich, G. Martin, *LightCheck®, new disposable indicators for monitoring lighting conditions in museums*, in *ICOM Committee for conservation 14th Triennial meeting, The Hague, 12-16 September 2005, preprints*, vol. 2, London, James & James, pp. 569-573, 2005; M. Bacci, C. Cucci, A.A. Mencaglia, A.G. Mignani, *Innovative Sensors for Environmental Monitoring in Museums*, in *Sensors*, 8, 2008, pp. 1984-2005, DOI: 10.3390/s8031984.

[41] C. Cacace, T. Georgiadis, *Il rilevamento dei parametri fisici ambientali*, in *Aerobiologia e Beni Culturali*, P. Mandrioli, G. Caneva (eds.), Firenze, Nardini Editore, 1998, pp. 57-81.

[42] G. Thomson, *The Museum Environment*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1986.

[43] H. Wilhelm 1993, *op. cit*.

[44] A.V. Jervis, F. Aramini, *Criteri per una corretta esposizione delle opere d'arte su carta*, in *Scelte e Strategie per la Conservazione della Memoria, Passati al Futuro,* Atti della Conferenza Internazionale, Dobbiaco (BZ), 25-29 giugno 2002, Centro di fotoriproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato, Archivio di Stato di Bolzano/Staatsarchiv Bozen (eds.), Soveria Mannelli (CZ), Rubbettino Industrie Grafiche ed Editoriali, 2005, pp. 175-185.

[45] *Ibid*.; E. Giani, *La vetrina museale. Linee guida per la progettazione e la messa in opera*, in *Kermes*, XV, 48, 2002, pp. 37-48.

[46] B. Lavédrine 2003, *op. cit*.

[47] G. Ficco, *Lezioni del Corso Tecnica del Controllo Ambientale*, 2005-2006, Corso di Tecnica del Controllo Ambientale Illuminotecnica, Università degli Studi di Cassino, Facoltà di Ingegneria - Polo di Frosinone, pp. 1-47, da: webuser.unicas.it/dweb/gestione/download.php?id=1071 (consultato il 18/06/2022).

[48] B. Lavédrine 2003, *op. cit*.

[49] R. Nave, *Light Emitting Diode Structure*, HyperPhysics, Department of Phisycs and Astronomy, Georgia State University, 2015, da: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Electronic/led.html (consultato il 16/06/2022).

[50] ANAI, *La digitalizzazione per la salvaguardia degli archivi e delle collezioni fotografiche*, in *Atti del Workshop, Roma, 27-29 ottobre 2003*, Luciana Devoti (ed.), Roma, ANAI, 2005; ICCU, *Linee guida per la digitalizzazione del materiale fotografico*, Gruppo di lavoro sulla digitalizzazione del materiale fotografico (ed.), Roma, ICCU, 2005.

6 Il ruolo della qualità dell'aria *indoor*

Marianna Adamo, Alberto Novo, Donatella Matè

L'inquinamento atmosferico è una modificazione della composizione dell'aria. Una definizione ci viene dal D.Lgs. 156/2006, art. 268 "Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera":

> «a) ogni modificazione dell'aria atmosferica, dovuta all'introduzione nella stessa di una o di più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da costituire un pericolo per la salute umana o per la qualità dell'ambiente oppure tali da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell'ambiente.»

L'inquinamento atmosferico e le problematiche che ne derivano coinvolgono anche gli ambienti interni. L'inquinamento nei luoghi confinati è indicato come *indoor* e la qualità dell'aria (*Indoor Air Quality* – IAQ), all'interno e intorno a edifici/strutture, ne misura la salubrità nonché il *comfort* in relazione agli occupanti. Caratterizzare il microclima di un ambiente (vedi Capitoli 4 e 5) implica che venga effettuato il rilevamento di: temperatura (anche delle superfici), umidità relativa, velocità e direzione dell'aria, radiazione luminosa naturale e artificiale ricevuta dalle superfici. Per una caratterizzazione completa è necessario però valutare anche la qualità dell'aria interna.

6.1 L'inquinamento *indoor*

Oramai il controllo dell'IAQ risulta di grande rilevanza (tra le varie attività inserite in programmi finalizzati) non solo per la conservazione preventiva dei beni ma anche per il contenimento dei possibili consequenziali problemi sanitari per operatori e utenti. L'inquinamento *indoor*, di natura fisica, chimica e biologica, ha assunto dunque un interesse prioritario nell'ambito della salute umana essendo stato riconosciuto come importante fattore di rischio poiché la maggior parte della popolazione trascorre in locali confinati oltre venti ore giornaliere, delle quali una gran parte nelle strutture lavorative[1]. L'attenzione nei confronti dell'IAQ è infatti aumentata da quando molte persone, che svolgevano attività di lavoro in contesti non industriali, hanno cominciato a manifestare sintomatologie correlabili alle condizioni ambientali interne. Negli ultimi tempi si è prestato particolare interesse agli allergeni, sostanze eterologhe di natura proteica o glicoproteica che, in seguito a determinate condizioni di esposizione, hanno la capacità di indurre nell'uomo la produzione di immunoglobuline di classe E (IgE) e la concomitante sensibilizzazione allergica.

Per quanto concerne gli effetti dell'inquinamento *indoor* sui beni, essi sono difficilmente definibili e misurabili ma è chiaro che il deterioramento non dipende solo da uno specifico inquinante essendo il risultato di interazioni con altri fattori ambientali, quali ad esempio temperatura e umidità relativa. Nella sua globalità tale processo rappresenta una complessa problematica in quanto gli inquinanti, derivanti da sorgenti interne e/o esterne, sono moltissimi e ognuno, con riferimento alla propria natura, può determinare effetti differenti (alcuni sono nocivi per taluni materiali mentre risultano innocui per altri) e manifestare una diversa reattività chimica/biologica a seconda dei valori ter-

moigrometrici e della presenza di vapore acqueo.

Con specifico riferimento al patrimonio conservato in molti archivi, biblioteche e musei, sono sufficienti concentrazioni notevolmente inferiori a quelle ritenute dannose per la salute umana affinché si verifichino deterioramenti più o meno rilevanti e generalmente irreversibili (es. opacizzazioni dei metalli, infragilimenti e sbiadimenti dei materiali cartacei)[2]. Del resto si deve considerare che già di per sé l'aria non inquinata contiene aeriformi in grado di interagire con i materiali come ad esempio l'ossigeno, responsabile di reazioni ossidative o il vapore acqueo mediatore di fenomeni di idrolisi. Le interazioni degli inquinanti con i materiali fotografici non sono completamente definite e per la maggior parte dei casi si esplica un'azione sinergica[3]. Di fatto è accertato che solfuro di idrogeno, perossidi di idrogeno, ozono, biossido di zolfo e ossidi di azoto sono i più noti inquinanti aggressivi per diversi costituenti delle fotografie. Anche i microrganismi possono danneggiare questi beni dando origine per esempio a macchie oppure a scolorimenti, infragilimenti dei supporti ecc., e la gravità del danno eventualmente causato, è strettamente correlata alla tipologia di materiale fotografico, al suo stato di conservazione e all'agente contaminante. Sia gli inquinanti chimici sia quelli biologici (vedi Capitolo 7) hanno ripercussioni sulla salute umana come si evidenzierà di seguito.

Ad oggi non esistono ancora leggi specifiche legate alla problematica dell'impatto degli inquinanti atmosferici sui beni culturali, né si conoscono, al momento, tutti i valori limite di soglia; la normativa esistente, sia in Italia sia all'estero, riguarda infatti prevalentemente la salvaguardia della sola salute umana. In termini generali si può pertanto affermare che alti livelli di IAQ, ottenuti attraverso la promozione di specifici programmi mirati alla valutazione degli aspetti igienico-sanitari degli ambienti confinati, sicuramente gioveranno non solo alla salute ma anche al patrimonio culturale.

Nonostante la condizione ambientale si ritenga accettabile quando i parametri climatici sono nella normalità, l'80% delle persone si dichiara soddisfatta della qualità dell'aria e gli inquinanti interni risultano in concentrazioni non dannose[4], l'IAQ può essere ulteriormente migliorata scegliendo opportune strategie di intervento e metodologie da utilizzare nel rispetto delle normative vigenti e/o adeguandosi alle linee guida disponibili. È ormai acclarato che il controllo aerobiologico degli ambienti confinati non è di facile gestione considerate le numerose variabili in gioco, alle quali purtroppo vanno ad aggiungersi: la continua introduzione di nuovi materiali edilizi, l'utilizzo sempre maggiore di impianti di ventilazione forzata e di condizionamento, nonché le emissioni da fonti interne tra cui le collezioni stesse. Gli impianti di climatizzazione infatti, sebbene da una parte rispondano alle sempre più pressanti richieste di risparmio energetico, dall'altra possono favorire, in caso di ventilazione insufficiente o in assenza di progettazione e di manutenzione adeguate, un aumento delle concentrazioni degli inquinanti aerodispersi.

6.2 Ambito normativo specifico

L'Organizzazione Mondiale della Sanità – OMS (World Health Organization-WHO) nel 2000 ha sancito il diritto ad un'aria interna salubre[5] e, successivamente, sollecitata dall'attenzione sempre maggiore dedicata agli ambienti confinati, ha elaborato per la Regione europea altri due testi: "WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould"[6] e "WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants"[7]. La prima pubblicazione definisce

le linee guida per affrontare e prevenire gli effetti negativi che umidità associata a crescita microbica e contaminazione degli spazi *indoor* possono esercitare sul benessere fisico delle persone occupanti gli ambienti confinati; tali indicazioni si basano su una approfondita revisione delle evidenze scientifiche che correlano problematiche di salute (soprattutto sintomi respiratori, allergie, asma e alterazioni del sistema immunitario) a umidità ambientale e presenza di agenti biologici. Il secondo testo, invece, anch'esso conclusione di una attenta disamina della letteratura scientifica disponibile al momento della sua stesura, oltre a indicare linee guida per la protezione della salute pubblica, elenca una vasta serie di sostanze chimiche (quelle che più comunemente inquinano l'aria e che sono state riconosciute pericolose) e fornisce indicazioni su come eliminare o ridurre al minimo l'esposizione a tali inquinanti. Le raccomandazioni proposte possono comunque essere usate come basi scientifiche per la definizione di normative standard ad uso legale.

In Italia non esiste una legislazione definita per il controllo dell'IAQ negli edifici generici anche se è facoltà dei Comuni emettere disposizioni, nell'ambito del Regolamento di Igiene e Sanità, fissando i parametri di salubrità delle abitazioni e degli abitati in genere. Attualmente la principale normativa di riferimento è costituita dal Testo Unico sulla sicurezza nei luoghi di lavoro – Decreto Legislativo n. 81/2008, Titolo II, Allegato IV (requisiti dei luoghi di lavoro e riferimento al microclima), che obbliga l'immediata rimozione dei depositi inquinanti e la sanitizzazione degli impianti di condizionamento. Da citare anche le linee guida ("Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati") discusse nella Conferenza Stato-Regioni pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 276/2001 aggiornate poi nel 2006 e nel 2013 e il Decreto del Ministero del Lavoro, 26 febbraio 2004 (Gazzetta Ufficiale n. 58/2004) che definisce una prima lista di valori limite indicativi di esposizione professionale agli agenti chimici. Nell'ambito internazionale dal 1969 opera il National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS – USA) che svolge ricerche relative agli effetti, a breve e lungo termine, dell'esposizione ad agenti ambientali sull'organismo.

Per quanto concerne l'inquinamento di tipo biologico, poiché non sono ancora disponibili sul territorio nazionale specifici regolamenti che definiscano in maniera univoca e categorica le procedure di monitoraggio, campionamento e rilevamento dei contaminanti biologici *indoor* (batteri, funghi filamentosi, virus, allergeni e tossine), è stato attivato un gruppo *ad hoc* composto da esperti individuati all'interno dell'Istituto Superiore di Sanità. Il lavoro di questi specialisti ha prodotto un documento rivolto in particolare a quelle strutture che, a vario titolo, sono preposte al controllo e/o allo studio della qualità dell'aria e delle superfici negli ambienti confinati ai fini della tutela della salute umana[8].

Le modalità di produzione e liberazione dei vari inquinanti sono diverse e moltissime le variabili che possono intervenire nella loro diffusione in atmosfera. Gli inquinanti fisici, chimici e biologici all'interno di ambienti confinati dipendono da: tipo di edifici e loro ubicazione, materiali edilizi, arredi, sistemi impiantistici di condizionamento dell'aria, occupanti e relative attività e, non ultimo, dagli stessi beni conservati. Si possono inoltre determinare e sostenere condizioni ottimali per sviluppo e proliferazione dei microrganismi soprattutto nel momento in cui si attua un ricircolo dell'aria filtrata.

Nell'ambito della normativa europea, si ritiene opportuno citare i principali documenti, elaborati dal Comitato Normativo Europeo (CEN), dall'International Organization for Standardization (ISO) e dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), già recepiti in Italia, che forniscono indicazioni generali per

una corretta strategia volta alla realizzazione di ambienti confinati idonei e al campionamento dei vari inquinanti:

- UNI 10339:1995[9] – con riferimento agli impianti aeraulici, fornisce indicazioni sulla classificazione e definizione dei requisiti minimi degli impianti e dei valori delle grandezze di riferimento durante il funzionamento degli stessi. Gli impianti devono consentire di raggiungere e mantenere le condizioni di qualità e movimento dell'aria e le sue condizioni termoigrometriche specifiche delle funzioni assegnate (filtrazione, riscaldamento, raffreddamento, umidificazione, deumidificazione).
- UNI EN ISO 16017-1:2002[10] e UNI EN ISO 16017-2:2004[11] – forniscono una guida generale per il campionamento e l'analisi dei composti organici volatili (VOCs – *volatile organic compounds*) nell'aria in ambienti, compresi quelli confinati e luoghi di lavoro.
- UNI EN ISO 16000-1:2006[12] – definisce gli aspetti generali della strategia di campionamento dell'aria in ambienti confinati.
- UNI EN 16798-1:2019[13] – vengono specificati i requisiti per i parametri ambientali interni per l'ambiente termico, la qualità dell'aria interna, l'illuminazione e l'acustica. Inoltre viene specificato come stabilire questi parametri per la progettazione del sistema dell'edificio e i calcoli delle prestazioni energetiche.
- UNI EN 481:1994[14] – definisce le convenzioni di campionamento per le frazioni granulometriche delle particelle che devono essere utilizzate per valutare i possibili effetti sanitari derivanti dall'inalazione di particelle aerodisperse nell'ambiente di lavoro.
- UNI ISO 7708:1998[15] – definisce i criteri di campionamento per le frazioni granulometriche delle particelle che devono essere utilizzate per valutare i possibili effetti sanitari derivanti dall'inalazione di particelle aerodisperse nei luoghi di lavoro e nell'ambiente in generale.
- UNI EN 482:2021[16] – specifica i requisiti di prestazione per procedure ai fini della determinazione della concentrazione di agenti chimici nelle atmosfere di lavoro (richiesto da Chemical Agents Directive 98/24 CE).
- UNI EN 13098:2019[17] – contiene linee guida per la valutazione dell'esposizione nell'ambiente di lavoro ai microrganismi aerodispersi inclusa la determinazione del n. totale/n. coltivabile di microrganismi e dei composti microbici.
- UNI 11108:2004[18] – descrive un procedimento per la misurazione della concentrazione dei granuli pollinici e delle spore fungine disperse in atmosfera (prevede un procedimento per la conta delle spore campionate indipendentemente dalla loro vitalità). Applicabile anche agli ambienti confinati a concentrazioni <104 particelle/m^3 di aria.
- UNI CEN/TS 16115-1:2011, UNI CEN/TS 16115-2:2017 e ISO 16000-18:2011[19] – nella prima specifica tecnica vengono descritte le modalità per il controllo di microfunghi in ambiente *indoor* al fine di identificare, quantificare e caratterizzare l'inquinamento da bioaerosol risultante da differenti fonti. La seconda norma, che si affianca alla prima, riguarda le misure da adottare per controllare la ricaduta di inquinanti microbici dalle emissioni di impianti. Anche la UNI 11108:2004 si riferisce alla determinazione di microfunghi e ai metodi di campionamento e conteggio delle spore fungine aerodisperse. Nella ISO vengono invece definiti i requisiti per il campionamento *indoor* di funghi a breve termine (da 1 min a 10 min) per impatto su terreni solidi di coltura.

- UNI EN 1540:2012[20] – specifica termini e definizioni legati alla valutazione dell'esposizione occupazionale ad agenti chimici e biologici. Si tratta di termini generali e specifici riferiti ai processi fisici/chimici di campionamento dell'aria, al metodo analitico o alla prestazione del metodo.

Per quanto riguarda la normativa italiana l'Atto di Indirizzo del 2001[21] segnala come attività fondamentale, nell'ambito della conservazione preventiva, l'espletamento del periodico rilevamento della qualità dell'aria con strumentazioni fisse o mobili mediante la misura di vari parametri chimici e biologici: O_3, SO_2, NO_2, CO_2 (μg/m^3), ioni solubili nel particellato (%), concentrazione del particolato aerodisperso – PTS (Particolato Totale Sospeso o Polveri Totali Sospese) e del PM_{10} (PM – *Particulate Matter*) (μg/m^3), oltre alla carica microbica totale dell'aria (UFC/m^3 ove per UFC si intende: Unità Formante Colonia), concentrazione fungina (UFC/m^3) e batterica (UFC/m^3), raccomandando inoltre alcuni valori limite per gli inquinanti aerodispersi.

6.3 Effetti degli inquinanti su materiali e salute (umana)

L'aria è costituita da gas inerti quali N_2 (78,08%), O_2 (20,95%), Ar (0,93%), CO_2 (0,03%), piccole quantità di He (5 ppm) e da una miscela di particelle solide finemente disperse: le polveri. Le sostanze inquinanti dell'aria, sia da contaminazione ambientale sia da sorgenti *indoor*, si trovano in forma gassosa, solida o come aerosol e le principali fonti di emissione possono essere sia naturali (atmosfera, acqua o suolo), sia di origine antropica (attività industriali, riscaldamento, trasporto, discariche ecc.).

Lo studio dell'inquinamento *indoor* è particolarmente complesso e difficile da gestire a causa delle numerose sorgenti che possono trovarsi negli ambienti confinati e delle molteplici sostanze da esse generate. Le modalità di produzione e di liberazione, e quindi le concentrazioni dei possibili inquinanti presenti, sono estremamente diverse anche per le moltissime variabili che possono influenzare la loro diffusione in atmosfera. Nonostante gli inquinanti *indoor* siano in gran parte gli stessi rilevabili all'esterno, può verificarsi, a volte, che la loro concentrazione all'interno sia superiore a quella presente nello stesso momento all'esterno dell'ambiente o, più comunemente, si riscontrano sostanze inquinanti non rilevabili nell'aria *outdoor*. Infatti il malfunzionamento del sistema di ventilazione o l'errata collocazione delle prese d'aria (vicinanza a strade a traffico intenso, parcheggi sotterranei, officine ecc.) oltre a determinare un considerevole aumento di inquinanti provenienti dall'esterno possono anche favorire la crescita di microrganismi o di altri contaminanti biologici.

Inoltre è fondamentale considerare — come già accennato — che molte sostanze nocive si generano all'interno degli ambienti confinati; esse possono derivare dai beni stessi, dagli arredi, dai materiali di costruzione (legno, cemento ecc.), dai rivestimenti delle pareti (schiume isolanti, vernici, pitture, adesivi ecc.), dalle coperture del pavimento (tappeti di lana o di fibre, linoleum ecc.), dai materiali di pulitura (solventi, ammoniaca, acidi, glicolo ecc.) e, infine, anche da eventuali pesticidi derivanti da trattamenti disinfestanti (organofosfati, cloro, benzene, arsenico ecc.) o disinfettanti (formaldeide, fenoli ecc.).

I contaminanti *indoor*, anche se presenti a basse concentrazioni, come è noto possono avere impatto negativo non solo sulla salute umana ma anche

sul patrimonio culturale, pertanto, una volta individuata la sorgente, risulta di estrema importanza caratterizzare i fenomeni di trasporto e diffusione delle sostanze nocive. In pratica deve essere valutato l'*approximate residence time*, il tempo cioè di residenza dell'inquinante in ambiente: ad esempio un inquinante con vita media maggiore di un altro ha più tempo per diffondersi e provocare danni, se invece ha tempo di vita medio alto in assoluto, a seconda delle sue caratteristiche chimiche, può anche provocare danni in un ambiente diverso da quello di origine. È ormai noto che molti prodotti chimici causano effetti negativi sull'uomo e, nel tempo, diversi studi sono stati intrapresi al fine di poter determinare i livelli massimi di esposizione nei luoghi di lavoro.

Si cita in proposito la *Multiple Chemical Sensitivity* (MCS), sindrome da sensibilità chimica multipla, caratterizzata da reazioni di intolleranza dell'organismo ad agenti chimici e ambientali. Tali concentrazioni di inquinanti, generalmente tollerate dalla maggior parte dei soggetti, in persone estremamente sensibili o allergiche possono dare origine a sintomi vaghi e non specifici (quali malessere generale, affaticamento, ansia, depressione, mal di testa, nausea, rash cutanei, vertigini, svenimenti ecc.). Il termine *chemical sensitivity*, fu introdotto dall'allergologo americano Theron G. Randolph per la prima volta nel 1954. Nel 1987, Mark R. Cullen, epidemiologo statunitense, introdusse il termine *Multiple Chemical Sensitivity*, e più tardi, nel 1996, un gruppo di esperti dell'OMS ha suggerito di utilizzare come termine appropriato di MCS quello di *Idiopathic Environmental Illness* (IEI) cioè di intolleranze ambientali idiopatiche, preferito oggi da molti autori[22]. Il NIEHS, citato, definisce la MCS come: "malattia cronica ricorrente causata da incapacità di una persona nel tollerare una sostanza chimica ambientale o una classe di sostanze chimiche estranee". Riconosciuta dall'OMS, già nel 1992, come condizione medica, è difficile da diagnosticare data l'estrema variabilità con cui gli individui reagiscono a determinati fattori chimici[23]. Di fatto il termine "paziente MCS", ad oggi, non è ancora chiaramente definito anche se alcuni esperimenti e studi osservazionali identificano questa patologia come disturbo psichiatrico. Quindi eziologia, diagnosi e trattamento sono ancora oggetto di ampio dibattito tra i ricercatori[24].

In ambito internazionale a tutela della salute umana operano l'"American Conference of Governmental Industrial Hygienists" (ACGIH), che determina i valori limite di soglia (TLV – *Threshold Limit Values*) ossia i più alti valori di inquinante presente in aria che un adulto possa tollerare senza danno — riferiti ad una esposizione di 8 ore — e l'"Occupational Safety and Health Administration" (OSHA). L'OSHA, Agenzia del Dipartimento del lavoro degli Stati Uniti, opera con lo scopo di garantire la sicurezza sul luogo di lavoro e stabilisce i limiti consentiti di esposizione (PELs – *Permissible Exposure Limit*). Le indicazioni emanate da entrambe le istituzioni hanno spesso ricadute internazionali. Questi valori limite in generale sono però molto più alti di quelli a cui i beni potrebbero manifestare danni. D'altra parte risulta estremamente difficile identificare la soglia minima responsabile del danneggiamento in quanto sovente essa, come già detto, è il risultato di un'azione sinergica tra inquinante *indoor*, umidità relativa, temperatura e complessità materica delle collezioni. Da considerare anche la capacità che i materiali stessi hanno di adsorbire gli inquinanti e rilasciarli successivamente al verificarsi di condizioni ambientali opportune[25].

Gli inquinanti *indoor* si suddividono in: inquinanti primari (come ossido di zolfo, ossido di carbonio, ossido di azoto, idrocarburi), che vengono immessi direttamente tal quali in un dominio ambientale (generati dall'attività uma-

na) e inquinanti secondari (come ozono, acido solforico, acido nitrico) che si formano per trasformazione di quelli primari o a seguito di modificazioni di varia natura. Possono essere composti organici, tra cui maggior rilevanza hanno i VOCs (il più pericoloso è la formaldeide), e composti inorganici quali: ossidi di zolfo, ossidi di azoto, acido solfidrico e ozono. Altro inquinante è il PTS con le polveri PM_{10}.

Le sorgenti di sostanze nocive all'interno di locali ove si conservano i beni di archivi, biblioteche e musei sono molteplici e correlate fra di loro.

Nella tabella 6.1 vengono indicati gli inquinanti designati come maggiormente dannosi (secondo la classificazione di Tétrault del 2003[26], elaborata in seguito a una vasta revisione degli inquinanti riscontrati in vari istituti preposti), le fonti di emissione e i possibili danni sui diversi materiali conservati compresi quelli fotografici. Sono infatti noti gli effetti nocivi del biossido di zolfo, degli ossidi di azoto, dell'anidride solforosa, dell'ammoniaca, dell'aldeide formica, dell'ozono e dei perossidi su questi supporti altamente sensibili[27].

Tabella 6.1 – Principali inquinanti, fonti di emissione ed effetti nocivi nei confronti di materiali conservati in archivi, biblioteche e musei.

INQUINANTI	FONTI DI EMISSIONE	EFFETTI NOCIVI SUI MATERIALI
Composti dello zolfo **- Biossido di zolfo o anidride solforosa (SO_2)** **- Acido solforico (H_2SO_4)** **- Acido solfidrico o solfuro di idrogeno o idrogeno solforato (H_2S)**	**Biossido di zolfo**: principalmente dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo, dai processi di trattamento metallurgico di minerali contenenti zolfo, dalla degradazione di materiali e manufatti che contengono zolfo, dalla emissione degli impianti di riscaldamento, fabbriche di carta ecc. **Acido solforico**: ossidazione di SO_2 nell'atmosfera o dalla superficie dei substrati. **Acido solfidrico**: dall'industria metallurgica (a causa dell'uso di solfuri metallici come precursori dei metalli puri e leghe), dalla degradazione di materia organica, dai visitatori ecc.	**Biossido di zolfo**: principale responsabile dei danni a materiali cartacei (acidificazione, scolorimento e infragilimento), pergamenacei, a pelle e cuoio (infragilimento), corrosione e ossidazione di metalli (es. ferro e rame), annerimento di alcuni metalli (es. argento), scolorimento di varie materie coloranti e macchie. Sbiadimenti e solfurazione dello strato immagine di fotografie (b/n e colore), degradazione della gelatina. **Acido solforico**: importante deteriogeno dei materiali proteici causa di sbiadimento di colori e pigmenti. **Acido solfidrico**: reagisce con l'argento delle stampe fotografiche determinandone sbiadimenti e solfurazione dello strato immagine.
Ossidi di azoto NO_x **- Biossido di azoto (NO_2)** **- Acido nitrico (HNO_3)**	Da sorgenti antropiche (processi di combustione industriale e domestica, motori a combustione interna). Generalmente immessi nell'atmosfera come NO. **Biossido di azoto**: combustione dei fossili. **Acido nitrico**: ossidazione di NO_2 in atmosfera, prodotto di degradazione del nitrato di cellulosa.	Ossidanti, corrosivi e precursori di acido nitrico, provocano scolorimenti dello strato immagine di materiali fotografici (anche a colori), infragilimento dei supporti in nitrato e in carta. Cambiamenti di colore e macchie nei tessuti. **Biossido di azoto**: in presenza di acqua è in grado di ossidare diversi metalli. **Acido nitrico**: può determinare attacco acido e ossidativo sui materiali proteici con frammentazione delle catene del collagene e perdita di resistenza. Provoca scolorimenti delle fotografie, cambiamenti di colore e macchie nei tessuti.

Ossidi di carbonio **- Monossido di carbonio (CO)** **- Biossido di carbonio o anidride carbonica (CO_2)**	**Monossido di carbonio**: attività antropiche (traffico veicolare, processi di combustione, impianti di riscaldamento), attività vulcaniche. **Biossido di carbonio**: attività antropiche e processi di combustione.	**Monossido di carbonio**: non ha effetti diretti sui materiali. **Biossido di carbonio**: in presenza di acqua forma acido carbonico in grado di idrolizzare vari manufatti organici.
Composti organici volatili (COV) – *volatile organic compounds (VOCs)* **Aldeidi** **- Acetaldeide (CH_3HCO)** **- Formaldeide (HCHO)** **Acidi carbossilici** **- Acido acetico (CH_3COOH)** **- Acido formico (HCOOH)** (tra i composti volatili vanno compresi anche i *microbial volatile organic compounds* – MVOCs, di origine biologica)	Fonti esterne: gas di scarico, emissioni industriali, vegetazione, biodeterioramento dei materiali organici, precipitazioni ecc. Fonti interne: prodotti per l'igiene, pitture e prodotti in legno, materiali da costruzione, vernici, adesivi, arredi, fotocopiatrici, stampanti laser, stampati, bioeffluenti, fumo di tabacco ecc. **Acetaldeide**: prodotti in legno e adesivi polivinilici, alcuni prodotti per l'igiene ecc. **Formaldeide**: emissione dei veicoli, adesivi a base di urea-formaldeide, collanti e resine utilizzate nei laminati plastici, pannelli, compensati e truciolati di legno, vernici, solventi, fumo di tabacco, fotocopiatrici ecc. **Acido acetico**: degradazione dei materiali organici, legno, adesivi del legno, prodotti per l'igiene, pitture, degradazione dell'acetato ecc. **Acido formico**: materiali in legno, degradazione dei materiali organici.	**Acetaldeide**: possibilità di ossidazione dell'aldeide ad acidi carbossilici. **Formaldeide**: possibilità di ossidazione dell'aldeide ad acidi carbossilici, corrosione del piombo, probabili denaturazioni e *crosslinking* delle proteine, reazioni con fotografie su carta in b/n e su materiale plastico, annerimento dell'argento, sbiadimento dei coloranti organici, modifiche nei pigmenti organici, reazioni con tessili e fibre. **Acido acetico**: corrosione e annerimento di alcuni metalli, infragilimenti di carte, sbiadimenti. **Acido formico**: corrosione e annerimento di alcuni metalli, diminuzione del grado di polimerizzazione della cellulosa.
Ozono (O_3)	Attività industriali, dai veicoli, smog. In ambienti confinati da: stampanti laser, fotocopiatrici, apparecchiature elettriche, sistemi di riscaldamento, ventilazione e climatizzazione, trappole elettroluminose per insetti ecc.	Ossidante, aumenta il grado di ossidazione di argento e ferro e favorisce solfurazione e corrosione di rame e argento. Determina crettature di gomme e plastiche, infragilimenti di carte e tessuti, sbiadimenti dei colori e cambiamenti dei colori nelle stoffe colorate. Nelle fotografie su carta (b/n e colore) comporta indebolimenti e infragilimenti.
Perossidi (—O:O—)	Vernici ad olio, deterioramento dei materiali organici ecc.	Sbiadimenti dello strato immagine di fotografie (b/n e colore) su carta.
Vapore acqueo (H_2O)	Ambiente esterno, visitatori, pitture, colle, prodotti per l'igiene, umidificatori ecc.	Accelerazione del deterioramento di vari materiali (corrosione dei metalli, fotossidazione delle materie coloranti ecc.), idrolisi dei manufatti organici come quelli di acetato e nitrato (pellicole), di alcune materie coloranti le fotografie, dell'emulsione di gelatina, di vernici naturali, di alcune carte ecc.
Particolato	Attività industriali, impianti di condizionamento, stampanti laser, cartoni di imballaggio, tessuti, condensazione da inquinanti secondari ecc.	Macchie, abrasioni delle superfici, scolorimenti dei manufatti.

A completamento della tabella 6.1, in maniera più dettagliata vengono di seguito trattati gli stessi inquinanti, altri di minore importanza e altresì accennati alcuni composti che derivano dalla degradazione di vari supporti costituenti le fotografie.

Composti dello zolfo Lo zolfo è un elemento relativamente abbondante e nell'atmosfera risulta presente principalmente come anidride solforosa (SO_2), acido solfidrico (H_2S) e solfati ($SO_4^=$).

Il biossido di zolfo o anidride solforosa (SO_2), gas incolore dall'odore acre e pungente, inquinante primario, si origina prevalentemente dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo, come il carbone e le nafte pesanti. Deriva dallo zolfo che si combina con l'ossigeno.

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 \qquad (6.1)$$

Contribuisce alle deposizioni acide e alla corrosione di pietre e metalli. La combustione di fossili e di materia organica, la decomposizione biologica nelle discariche ecc., concorrono al 95% del totale delle emissioni antropiche di zolfo. Come altri inquinanti gassosi reagisce formando materiale particolato il quale può stazionare in atmosfera o essere eliminato grazie alla pioggia o ad altri processi di deposizione. Molti fattori, tra cui: temperatura, umidità, intensità della luce, trasporto atmosferico e caratteristiche superficiali del particolato e del materiale che lo riceve, possono influenzare le reazioni chimiche del biossido di zolfo atmosferico. Viene rimosso attraverso la sua ossidazione ad anidride solforica. Rappresenta il principale responsabile dei danni sui beni. Può danneggiare leganti come la gelatina[28], determinare ingiallimenti[29] sui supporti, sbiadimenti, perdite di contrasto, scomparsa di dettagli dell'immagine ed essendo un agente riducente, in presenza di ossidanti, contribuire al deterioramento ossido-riduttivo generando il fenomeno noto come "specchio d'argento" – *silver mirroring*, di seguito trattato.

Per quanto concerne l'uomo, gli effetti del biossido di zolfo sono principalmente legati a patologie dell'apparato respiratorio quali bronchiti, asma, tracheiti e a irritazioni di pelle, occhi e mucose. Infatti, a causa dell'elevata solubilità in acqua, viene assorbito facilmente dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio. Accertato anche l'effetto sinergico in seguito a esposizione combinata con il particolato in grado di veicolare l'SO_2 nelle zone profonde del polmone.

L'SO_2 combinandosi con l'ossigeno dell'aria forma l'anidride solforica:

$$SO_2 + O_2 \rightarrow SO_3 \qquad (6.2)$$

L'SO_3 reagendo con l'acqua (vapore acqueo) forma l'acido solforico:

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \qquad (6.3)$$

L'acido solforico è un agente deteriogeno dei materiali proteici e attacca tutti gli elementi costitutivi la fotografia; le immagini argentiche si opacizzano e i supporti in carta e cartone si decolorano e infragiliscono. Altamente corrosivo, non può essere eliminato con la ventilazione. Nell'uomo la sua inalazione può provocare grave irritazione agli occhi e alle vie respiratorie.

L'acido solfidrico (H_2S) è molto nocivo per la salute. La letteratura scientifica riconosce la sua tossicità e i dati medici mostrano come anche un contatto con basse dosi possa risultare altamente dannoso producendo irritazione

agli occhi e alla gola. In presenza di vapore acqueo è in grado di aggredire l'argento provocandone l'annerimento.

Il fenomeno è tipico della superficie dei dagherrotipi, costituiti da una lastra di rame argentata, quando non ben conservati sotto vetro nella custodia protettiva e isolati dagli inquinanti esterni (figg. 6.1–6.2). Gli aloni scuri di colore blu tendenti al nero sono dovuti a ossidazione e solfurazione, fenomeni che si manifestano con i caratteristici colori dell'interferenza, come suggerisce Daffner *et al*. in uno studio del 1996[30] (in nota vi sono anche riferimenti per una disamina dei deterioramenti sui dagherrotipi); l'argento, reagendo con lo zolfo, avvia con l'Ag ossidato il processo di degradazione. La formazione di solfuro d'argento dona un primo velo di color giallo che poi procede al bruno-giallo (salmone), al bruno scuro fino ad arrivare al nero-blu. Comunque oltre all'H_2S tutti i composti solforati (ossidi di zolfo e solfuro di carbonile – COS), gli ossidi di azoto e i composti clorati, figurano tra gli inquinanti più o meno importanti coinvolti nell'annerimento dell'argento, fenomeno in cui si ritiene essere interessata anche l'umidità relativa ambientale[31]. Beldjoudi *et al.* (1995)[32] in uno studio sulla solfurazione di oggetti metallici riportano che lo spessore della patina di Ag_2S, formata nel processo di annerimento dell'argento, potrebbe dipendere proprio dall'umidità; uno strato di acqua adsorbito dalla superficie del metallo sarebbe in grado di favorire il processo di corrosione elettrochimica.

Lo zolfo proviene, oltre che dagli inquinanti atmosferici, anche dai residui del fissaggio (tiosolfato di sodio) e dalle operazioni di lavaggio non condotte correttamente, dai supporti secondari delle fotografie, dalle colle e dalle vernici utilizzate nei montaggi, dagli involucri e contenitori non idonei. L'acido solfidrico, oltre a provocare l'annerimento delle lastre dagherrotipiche (l'Ag attaccato dall'H_2S forma un precipitato nero di solfuro d'argento – Ag_2S), è in grado di reagire con l'emulsione delle stampe argentiche determinando anche in questo caso fenomeni di solfurazione[33]. Lo schema di reazione generale è:

$$4Ag + 2H_2S + O_2 \rightarrow 2Ag_2S + 2H_2O \qquad (6.4)$$

Nella solfurazione, che si manifesta con sbiadimenti dell'immagine e perdita di densità e di dettagli, l'argento originale migra nel supporto e in pratica viene sottratto all'immagine di partenza[34]. Lo zolfo nel caso delle albumine proviene anche dall'albume stesso.

Nelle immagini di seguito si evidenziano danni derivanti da contaminanti di diversa natura (figg. 6.3–6.7), tra cui lo zolfo. Sulle stampe ad annerimento diretto (costituite da argento fotolitico) l'evidenza di questo fenomeno è proprio lo sbiadimento. In una prima fase vengono attaccate le aree con minima densità argentica, l'argento che rimane provoca una perdita di contrasto iniziale e l'immagine si scurisce (in quanto l'argento metallico fotolitico, composto da particelle finissime, si ossida e si trasforma in Ag_2S, costituito da particelle più grandi che, assorbendo più luce, appaiono più scure). Successivamente per una dislocazione dei cristalli di alogenuro si determina lo sbiadimento. Nell'argento filamentare (argento fotochimico delle stampe a sviluppo), la solfurazione attacca per prime le aree con minima densità argentica, provocando un ingiallimento dal tono olivastro e poi quelle con massima densità suddividendo l'argento in particelle di solfuro d'argento che provocano lo sbiadimento dell'immagine; le aree non impressionate restano generalmente bianche.





Figg. 6.1, 6.1a

Dagherrotipo, 1860 ca., con tipica ossidazione derivante dagli inquinanti atmosferici (principalmente zolfo) riscontrabile lungo il bordo dell'immagine (fig. 6.1). Il fenomeno procede dall'esterno verso l'interno della lastra (*edge tarnish front*) e si evidenzia maggiormente in prossimità del montaggio (*mat tarnish front*). Risulta ben visibile nel particolare (fig. 6.1a) la colorazione che dal bruno-giallo progredisce verso il blu-nero. Solfurazione e ossidazione possono infatti generare colori di interferenza



Fig. 6.2

Particolare di dagherrotipo,1860 ca., con tipica ossidazione in corrispondenza del bordo del *case*. Si può evidenziare come la fotografia sia stata precedentemente montata in una cornice dalla forma squadrata





Figg. 6.3, 6.3a

Stampa all'albumina, fine Ottocento, con piccole macchie puntiformi imputabili a fenomeni di solfurazione (fig. 6.3a, a lato). Il danno è ben evidente nell'ingrandimento (fig. 6.3, in alto)

Figg. 6.4, 6.4a

Stampa all'albumina, fine Ottocento, con macchie puntiformi imputabili a fenomeni di solfurazione (fig. 6.4a, a lato). Nell'ingrandimento si evidenziano le tipiche macchie (fig. 6.4, in basso)







Fig. 6.5

Stampa all'albumina formato *carte de visite*, fine Ottocento, che evidenzia piccole macchie puntiformi sempre imputabili a fenomeni di solfurazione

Altro meccanismo legato agli ioni argento (Ag^+) che reagiscono con i composti solforati (es. SO_2) o con il particolato, è lo "specchio d'argento" (figg. 6.8–6.11a). Prodotto di una catena di reazioni di ossidoriduzione e solfurazione con effetto dirompente a livello superficiale, lo specchio è un deposito formato da Ag_2S, argento metallico e composti derivanti dal deterioramento dei supporti e della gelatina.

Si evidenzia con l'apparizione di un velo lucido di aspetto metallico, generalmente blu, a volte con sfumature gialle, verdi e viola soprattutto ai bordi e nelle zone più scure dell'immagine (ben visibile quando una fonte di luce è riflessa sulla superficie del manufatto con un basso angolo). Consiste in uno strato di particelle dello spessore di circa un centinaio di nanometri (1 nm = 10^{-9} m) che sono distribuite sulla superficie dell'emulsione.

Questo fenomeno si manifesta nei procedimenti argentici con supporto in carta (soprattutto quelli con legante gelatina), vetro o materiale plastico. Secondo un vecchio modello elaborato da Henn e Wiest (1963)[35] i granuli di alogenuro d'argento vengono dapprima ossidati con formazione di ioni d'argento, successivamente si riaggregano nell'emulsione e infine migrano nella gelatina dando origine allo specchio. Lo studio svolto da Di Pietro (2004)[36], con l'analisi della composizione delle particelle d'argento e dello strato dello specchio, ha permesso di identificare le caratteristiche che differenziano la formazione di questo danno da altri tipi di deterioramento dell'immagine argentica. Quindi un altro modello di formazione del *silver mirroring* è stato proposto in sostituzione del modello (OMR) che prevedeva tre step: 1) ossidazione; 2) migrazione; 3) riaggregazione.

Il nuovo modello (ODGR) prevede quattro stadi: 1) ossidazione dei granuli di alogenuro d'argento (come nel modello classico OMR, tra l'altro descritto da vari



Fig. 6.6

Carta salata, anni Venti, con macchie probabilmente derivanti dal cartone di montaggio



Fig. 6.7

Stampa alla gelatina a sviluppo, anni Trenta, con macchie derivanti dai trattamenti di sviluppo, fissaggio e lavaggio non condotti correttamente

autori); 2) diffusione degli ioni argento guidata dalla differenza di concentrazione di ioni argento tra le aree più vicine all'immagine e la massa dell'emulsione; 3) reazione con composti dello zolfo che provengono dall'esterno per produrre solfuro d'argento. Tra i gas ambientali, l'idrogeno solforato è il più probabile nonché il solfuro di carbonio; 4) crescita delle particelle di solfuro d'argento a seguito della reazione tra ioni argento e idrogeno solforato.

Un altro studio di Alì *et al.* (2012)[37] sui danni delle stampe alla gelatina ha valutato che le particelle d'argento subiscono cambiamenti nella loro forma e dimensione e possono reagire con lo zolfo per formare il solfuro d'argento.





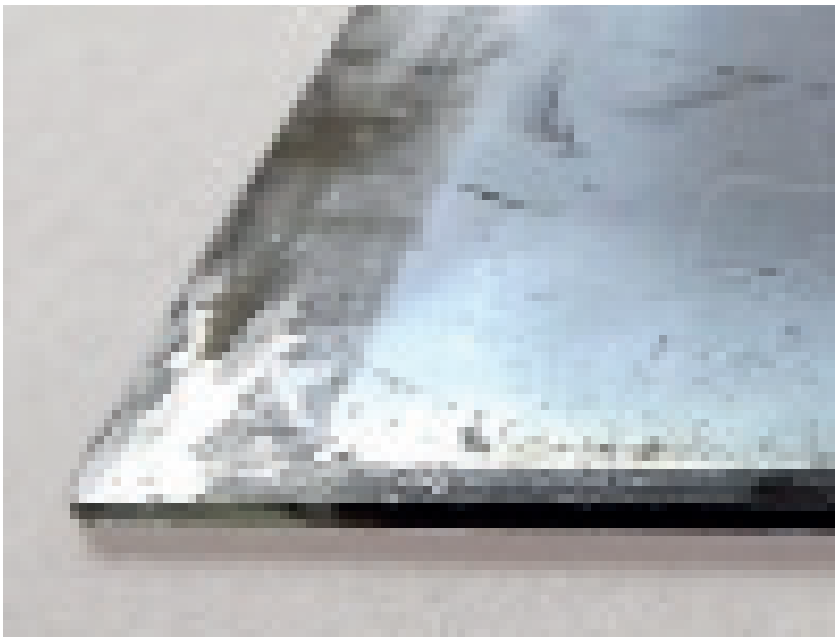
Figg. 6.8, 6.8a

Stampa alla gelatina, anni Venti, con il tipico fenomeno dello specchio d'argento (fig. 6.8, a lato) ben visibile anche nell'ingrandimento (fig. 6.8a, in basso)



Fig. 6.9

Particolare di stampa alla gelatina, primi Novecento, con fenomeno di specchio d'argento enfatizzato dall'uso di luce speculare. Presente nelle stampe provviste di legante, è assente invece nelle carte salate in quanto prive del mezzo che permette il movimento degli ioni argento



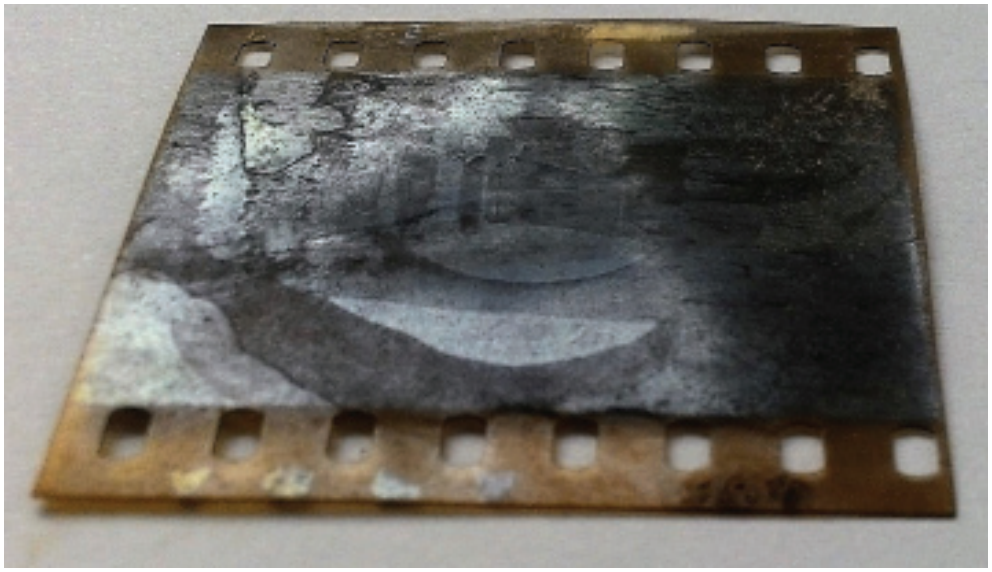
Figg. 6.10, 6.10a

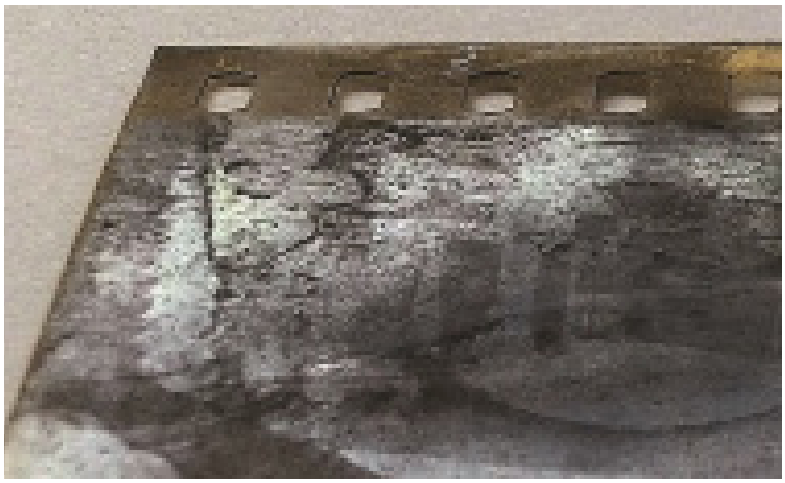
Lastra alla gelatina, anni Quaranta, che presenta il fenomeno dello specchio d'argento (fig. 6.10, in basso) enfatizzato dall'uso di luce speculare. Si evidenziano anche ulteriori danni allo strato immagine ben visibili nell'ingrandimento (fig. 6.10a, a lato)



Figg. 6.11, 6.11a

Pellicola in nitrato di cellulosa della fine degli anni Trenta, con specchio d'argento (fig. 6.11, in alto) diffuso su tutta la superficie dell'emulsione. L'ingrandimento (fig. 6.11a, in basso) evidenzia la colorazione argentea tipica di questo fenomeno





La stabilità dei sali d'argento dipende moltissimo dalla loro morfologia. Il cambiamento delle dimensioni delle particelle e la reazione con lo zolfo possono produrre cambiamenti importanti nel colore e nella densità dell'immagine.

Secondo il modello di aggregazione (OMR), infatti, il primo passo del decadimento è l'ossidazione delle particelle d'argento. Nel processo, le particelle vengono eliminate dagli elettroni e convertite in ioni d'argento i quali possono migrare attraverso la gelatina nello strato di emulsione. Si possono verificare quindi le seguenti forme di decadimento dell'immagine: decolorazione giallo/arancio, specchiatura argentata, colorazione giallo/marrone, dissolvenza e formazione di macchie *redox*.

La localizzazione dello specchio segue per lo più un *pattern* tipico che può essere lungo i bordi (ad esempio quando i margini sono esposti alla circolazione dell'aria e degli inquinanti), e/o al centro (quando l'immagine è conservata in contenitori non idonei) e risulta più evidente nelle basse luci (zone scure – massimo della densità argentica) piuttosto che nelle medie per via della concentrazione dell'argento. Anche le fotografie montate sotto vetro tendono ad avere una localizzazione del fenomeno lungo i margini in quanto, in mancanza di ventilazione, gli inquinanti sono più reattivi in queste aree, per poi progredire verso l'interno. Lo specchio che invece si forma al centro delle fotografie è più facilmente riconducibile al contatto con i contenitori che rilasciano ossidanti, come perossidi o composti solforati. Si tratta di un fenomeno irreversibile e l'unico intervento preventivo è il controllo ambientale.

Sempre dalle considerazioni ricavate dagli studi condotti da Di Pietro, si evince che non è tanto il fattore umidità correlabile a tale fenomeno quanto probabilmente la temperatura, anche se non ci sono specifiche sperimentazioni che abbiano al momento completamente chiarito questo meccanismo.

Ossidi di azoto Gli ossidi di azoto sono tutti i composti tra azoto e ossigeno nei vari stati di ossidazione che si formano durante i processi di combustione ad alte temperature; questi ossidi e in particolare il biossido (NO_2) sono coinvolti nell'inquinamento dell'aria e nella formazione dello smog fotochimico. Gli ossidi di azoto si ossidano nell'atmosfera ad acido nitrico (HNO_3) che esplica la sua azione corrosiva depositandosi sulle superfici dei materiali. L'NO_2 viene facilmente dissociato fotochimicamente a NO e ossigeno atomico reattivo secondo la reazione:

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O \qquad (6.5)$$

Questa reazione è il più importante processo fotochimico primario coinvolto nella formazione dello smog fotochimico.

L'ossigeno atomico porta quindi alla formazione di ozono (O_3) per reazione con l'ossigeno dell'aria:

$$O + O_2 \rightarrow O_3 \qquad (6.6)$$

I tre ossidi di azoto che normalmente si trovano nell'atmosfera sono: ossido nitroso (N_2O), ossido nitrico (NO) e biossido di azoto (NO_2).

L'ossido nitroso è un gas relativamente poco reattivo e non influenza in modo significativo le importanti reazioni chimiche che avvengono nella bassa atmosfera, quindi non viene considerato nocivo in quanto chimicamente inerte alle temperature ordinarie. Risulta essere il più abbondante dei composti azotati in atmosfera ed è emesso principalmente per azione dei batteri nel suolo e, secondariamente, attraverso reazioni chimiche nella parte più alta dell'atmosfera. Esplica una notevole attività ossidante e in presenza di umidità porta alla formazione di acido nitrico e di acido nitroso che all'aria si ossida successivamente a nitrico.

L'ossido nitrico, privo di odore e colore, e il biossido di azoto, rosso-bruno e di odore pungente, vengono indicati globalmente come NO_x. Questi gas entrano nell'atmosfera da sorgenti naturali come fulmini e processi biologici e da sorgenti inquinanti.

La maggior parte delle sorgenti antropiche di ossidi di azoto sono i processi di combustione (gli impianti di potenza e quelli per riscaldamento domestico), i motori a combustione interna e più genericamente ogni processo che comporta il riscaldamento dell'aria ad alta temperatura. Gli ossidi di azoto sono generalmente immessi nell'atmosfera come NO dove i processi fotochimici convertono l'ossido nitrico in NO_2. Tali gas svolgono una azione irritante che si esplica a livello delle mucose in genere, degli occhi e delle prime vie respiratorie.

Le reazioni chimiche in atmosfera convertono gli NO_x ad acido nitrico, a sali di nitrato inorganici, a nitrati organici e a perossiacetilnitrato (PAN). Poiché le reazioni fotochimiche avvengono con la luce solare, la formazione di ozono segue l'andamento dell'irraggiamento diurno. Il PAN, composto caratterizzato da una certa stabilità, costituisce una riserva di ossidanti durante il periodo notturno e favorisce l'aumento della concentrazione di ozono che si verifica con il susseguirsi di giorni di tempo bello e stabile. Per il suo potere ossidante, ha sull'uomo effetti tossici e irritativi. Può essere ritrovato anche in ambienti confinati in quanto, oltre a essere generato da reazioni tra acetaldeide e altri composti organici con il biossido di azoto, può derivare dalla mancanza di opportuni sistemi di filtrazione dell'aria a carboni attivi. Non

sono ben definiti i suoi effetti sulle collezioni[38].

Gli ossidi di azoto sono molto importanti anche nella genesi delle deposizioni acide, in quanto in presenza di acqua si convertono in acido nitrico ed altre sostanze acide. L'acido nitrico è in grado di determinare attacco acido e ossidativo ai materiali proteici con conseguente frammentazione delle catene del collagene e perdita di resistenza.

Negli ambienti di deposito di pellicole cinematografiche sono stati identificati numerosi inquinanti tra cui il biossido di azoto legato alla presenza del nitrato di cellulosa[39]. Gli ossidi di azoto degradano la gelatina fotografica con una modifica della ripartizione degli amminoacidi, idrolisi delle macromolecole e conseguente aumento della possibilità che la gelatina si solubilizzi con perdita dell'immagine[40]. Possono causare scolorimento e perdita di contrasto nei materiali argentici e provocare danni ai vari leganti (come appunto la gelatina)[41] e ad alcuni supporti.

Per la strategia di campionamento e di misurazione del diossido di azoto (NO_2) si può fare riferimento alla norma UNI EN ISO 16000-15:2008[42].

Ossidi di carbonio Il monossido di carbonio (CO) è legato alle attività antropiche, ha un tempo di residenza in atmosfera di circa un mese e viene rimosso mediante reazioni fotochimiche in troposfera. Non ha effetti diretti sui materiali e agisce come precursore del biossido di carbonio o anidride carbonica (CO_2).

Il biossido di carbonio è prodotto dalle attività umane e deriva dai processi di combustione. Mentre fino a un secolo fa le emissioni erano bilanciate dalla rimozione da parte della vegetazione grazie alla fotosintesi clorofilliana, il brusco aumento delle emissioni (causato dall'ampio uso di combustibili fossili) ha portato all'aumento delle concentrazioni di fondo. L'interesse che si è sviluppato attorno a questo composto è dovuto alle modificazioni climatiche su scala planetaria delle quali è responsabile. La CO_2, risultato della combinazione del carbonio con l'ossigeno presente nell'aria, viene prodotta anche dagli esseri viventi come risultato del loro metabolismo. La concentrazione di CO_2 è un parametro che negli ultimi anni è stato inserito nelle indagini per la determinazione della qualità dell'aria *indoor*. Il suo accumulo in ambienti chiusi può provocare fenomeni di soffocamento progressivo e a concentrazioni superiori al 6% determinare danni acuti. Si considera come inquinante di riferimento perché consente di verificare l'efficacia dei sistemi di ventilazione[43]. L'effetto principale sui materiali, in presenza di H_2O, è l'acidificazione del mezzo per produzione di H_2CO_3 con effetti litici.

In generale i livelli di concentrazione *indoor* degli ossidi di carbonio non costituiscono fonti di particolare rischio per i manufatti e per gli operatori.

Composti organici volatili Il termine composti organici volatili (COV) – *volatile organic compounds* (VOCs) sta a indicare qualsiasi composto organico che abbia a 293,15 K (20°C) una pressione di vapore ≥0,01 kPa, oppure che abbia una volatilità corrispondente in condizioni particolari di uso come definito nell'art. 268 del D.Lgs 152/2006 e smi (Testo Unico Ambiente – TUA Consolidato nel novembre 2017, ed. 4.0) che disciplina la tutela dell'aria e la riduzione delle emissioni in atmosfera ai fini della prevenzione e riduzione dell'inquinamento.

I VOCs comprendono sostanze diverse tra loro, in forma gassosa e liquida o solida negli aerosol, con capacità di evaporare facilmente a temperatura e pressione ambiente, definite perciò volatili. Rientrano in questa categoria più di trecento sostanze, tra cui: idrocarburi aromatici come benzene e derivati, toluene, stirene, idrocarburi alifatici come metilesani, idrocarburi alogenati

(cloroformio, clorobenzeni ecc.), alcoli (etanolo, propanolo, butanolo e derivati), esteri, chetoni, e composti naturali come terpeni emessi dalla vegetazione ecc. Nell'ultimo decennio è stata individuata una serie di nuovi VOCs, sia per l'introduzione di nuovi materiali negli edifici sia per il maggiore affinamento delle tecniche di campionamento e di misura[44]. Sono responsabili dell'effetto serra, delle deposizioni acide, del depauperamento dello strato di ozono e dello smog fotochimico.

Negli ambienti *indoor* queste sostanze derivano principalmente dai materiali edili, dagli isolanti e dai prodotti usati quotidianamente per l'igiene (alcol etilico, fenolo, acetone ecc.), dalle pitture, vernici, colle (toluene, xilene, vinilcloruro ecc.), ma possono provenire anche dagli arredi, stampanti, fotocopiatrici, dai prodotti della conservazione del legno (pentaclorofenolo, p-diclorobenzene), dai refrigeranti degli impianti di raffreddamento e dagli impianti di aerazione. Per quanto riguarda l'ambiente esterno l'apporto dei VOC_S è dato dalle emissioni industriali, dai veicoli a motore, dall'utilizzo di solventi, dalla lavorazione degli alimenti e dall'agricoltura, ma anche come conseguenza dei processi biogenici. L'auto-ossidazione di sostanze chimiche e le reazioni di alcuni composti organici volatili con ozono e radicali nitrati nell'aria possono portare alla formazione di prodotti quali formaldeide, benzaldeide, acido formico. La maggior parte dei composti organici volatili, tra l'altro fitotossica, è un irritante dell'apparato respiratorio e degli occhi; inoltre molti VOC_s hanno azione neurotossica a elevate concentrazioni e alcuni sono sospetti o noti cancerogeni (es. benzene e formaldeide).

Tra gli acidi organici figura l'acido acetico (CH_3COOH) che è in grado di determinare corrosione di oggetti metallici (piombo, bronzo) e imbrunimento dei substrati cellulosici. L'acido acetico deriva anche dalla degradazione per idrolisi (deacetilazione) delle pellicole in acetato di cellulosa (fig. 6.12).

Per tale motivo, come verrà sottolineato in seguito (vedi Capitoli 11 e 12), le pellicole in acetato di cellulosa richiedono condizioni di segregazione per evitare che i prodotti di degradazione attacchino anche le pellicole non deteriorate, favorendo in tal modo la decomposizione, la produzione continua di questo acido e l'accumulo in ambienti confinati[45]. Il deterioramento imputabile agli acidi organici è più significativo per conservazioni a lungo termine.

Una serie di interessanti studi, tra cui quelli riportati di seguito (altri sono citati in bibliografia)[46], sono stati condotti negli ultimi venti anni e riguardano la presenza di VOCs in ambienti *indoor* derivanti dalla degradazione della carta. Gibson *et al.* (2012), in alcune biblioteche e archivi del Regno Unito e dell'Irlanda (contenenti manufatti in carta e pergamena, microfilm, fotografie ecc.), hanno dimostrato che dalla degradazione della cellulosa può derivare: acido acetico e altre sostanze quali trimetilbenzene, etiltoluene, decano, canfora e furfurolo. I VOCs emessi dai materiali cartacei in fase di degradazione inducono a loro volta fenomeni di ossidazione e acidificazione sulla carta che risulterà ulteriormente danneggiata come evidenziato tra l'altro dallo studio condotto da Strlič *et al.* (2011). La ricerca portata avanti da Tétrault *et al.* (2013) ha determinato un contributo ulteriore mostrando la reattività verso la cellulosa di vari composti volatili comunemente rilasciati dalla carta. Una immediata rimozione di tali sostanze nel microambiente conservativo può determinare un allungamento dell'aspettativa di vita di tali materiali.

Anche gli operatori emettono VOCs come bioeffluenti. La complessa composizione non ne permette una facile analisi, comunque è nota la tossicità di vari composti quali benzene, toluene, diclorometano, limonene e formaldeide che, dal punto di vista tossicologico e mutagenico, è la più importante[47].



Fig. 6.12

Pellicola in acetato di cellulosa, anni Cinquanta, con deformazioni tipiche che si manifestano nella sindrome acetica. A questo stadio la percezione dell'acido acetico è già molto accentuata

Quest'ultima è stata classificata dall'Agency for Research on Cancer – IARC come cancerogeno per l'uomo similmente al benzene e la sua presenza in ambienti *indoor* è causa di irritazione per pelle, occhi, prime vie aeree e inoltre di mal di testa e sonnolenza[48]. La concentrazione di formaldeide all'interno dei locali è influenzata dalla temperatura e dalla umidità relativa.

La formaldeide, di fatto l'aldeide più comune reperibile in ambienti interni, sembra avere un ruolo minore nella degradazione dei metalli[49]; ha una grande affinità per l'acqua e, a causa della sua natura polare, reagisce con altri materiali comportandosi da agente riducente. Il meccanismo attraverso il quale è in grado di danneggiare i supporti richiede la presenza di ossidanti come perossido di idrogeno, ozono e ossigeno. La norma UNI EN ISO 16000-2:2006[50] costituisce un valido aiuto per la pianificazione del campionamento e delle misure di detto inquinante.

Alcuni Autori indicano i VOCs tra le possibili cause della *Sick Building Syndrome* (SBS o Sindrome dell'edificio malato – vedi Capitolo 7) anche se nei casi descritti in Italia non sono state ritrovate concentrazioni particolarmente elevate di tali sostanze[51]. In generale i VOCs sono ritenuti responsabili di fenomeni irritativi (oculari, prime vie respiratorie) fino ad arrivare a gravi problematiche di tipo cronico (fegato, reni ecc.). Per la strategia di campionamento e di misurazione dei VOCs in generale si può fare riferimento alla norma UNI EN ISO 16000-5:2007[52].

È ormai accertato che esiste una vasta gamma di VOCs di origine biologica e quindi ai composti volatili trattati precedentemente, vanno ad aggiungersi quelli di derivazione microbica (MVOCs)[53]. Si tratta di prodotti del metabolismo primario (generati dall'attività degradativa dei composti organici) e secondario (con funzione di inibizione nei confronti di altri microrganismi, di regolatori di crescita e sviluppo) di microfunghi e batteri. Essi risultano facilmente individuabili dal punto di vista olfattivo in quanto spesso associati a forti odori "fruttati", anche sgradevoli, che consentono di scoprire una eventuale contaminazione microbica ancor prima del suo evidenziamento; in tal modo si rivelano quali indicatori precoci della presenza di una infezione "attiva".

L'emissione di MVOCs è influenzata da fattori quali il substrato (come ad esempio i valori di pH e il contenuto di umidità del materiale), la temperatura, così come la luce, e i livelli di anidride carbonica o di ossigeno[54]. Come componenti volatili (unitamente ad allergeni e a micotossine), possono essere inglobati anche all'interno delle spore di molti microrganismi.

I microfunghi più frequentemente repertati negli ambienti *indoor* e po-

tenzialmente responsabili della produzione di MVOCs sono: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp., *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp. e *Stachybotrys chartarum* (chiamato anche *Stachybotrys atra*) potenzialmente molto tossico[55].

Tra i composti ascrivibili a questi inquinanti figurano: alcoli a basso peso molecolare, aldeidi, ammine, chetoni, terpeni, idrocarburi aromatici e clorurati nonché composti a base di zolfo.

La caratterizzazione specie-specifica dei composti volatili prodotti dai microrganismi, utilizzabili come sostanze di riferimento, potrebbe essere utile per identificare selettivamente la specie microbica contaminante presente e individuare contemporaneamente i rischi correlati alla salute. Più in generale, la quantificazione può essere impiegata come indicatore per sospette o nascoste contaminazioni microbiche[56].

Gli effetti più evidenti sulla salute per esposizione a MVOCs sono le irritazioni a occhi e vie aeree superiori[57].

Ozono L'ozono (O_3) è uno dei prodotti principali dello smog fotochimico (smog = contrazione delle voci *smoke* e *fog*). Lo smog fotochimico si riferisce al miscuglio di gas inquinanti che si forma nella bassa atmosfera per azione della luce solare sulle emissioni antropiche (particolarmente gli ossidi di azoto e gli idrocarburi emessi dagli scarichi dei veicoli), con produzione di gas chimicamente reattivi che possono essere deleteri per gli organismi viventi. Il termine è nato a Londra, il cui smog è di tipo riducente o solforoso (di tipo tradizionale) poiché contiene SO_2 e particelle carboniose, al contrario di quello di Los Angeles ossidante o fotochimico (i primi casi furono segnalati in questa città negli anni Quaranta), caratterizzato da alte concentrazioni di ossidanti. In presenza di smog fotochimico la SO_2 è rapidamente ossidata ad H_2SO_4.

L'ozono (forma allotropica dell'ossigeno) è un gas bluastro, inquinante secondario che non viene emesso ma si forma *in situ*. Si può generare da un primario o da una sostanza non inquinante. L'O_3 troposferico è dannoso per l'ambiente in generale provocando danni al DNA di animali e vegetali, e come sostanza fortemente ossidante deteriora i vari materiali compresi quelli che costituiscono i beni culturali. L'O_3 stratosferico è invece utile fungendo da filtro per le radiazioni ultraviolette nella stratosfera. La chimica dell'ozono stratosferico è diversa da quella dell'ozono troposferico.

Nella stratosfera esso si può formare attraverso le seguenti reazioni:

$$O_2 + h\nu \rightarrow O + O \qquad \text{con } \lambda < 242 \text{ nm} \qquad (6.7)$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \qquad (6.8)$$

dove M è un terzo corpo che serve per cedere o assorbire energia. La prima è una reazione fotochimica, mentre la seconda è una reazione chimica.

L'O_3 stratosferico si forma inizialmente quando una molecola di ossigeno assorbe radiazioni ultraviolette di breve lunghezza d'onda che scindono la molecola in due atomi di ossigeno altamente reattivi; ciascun atomo di ossigeno si combina, successivamente, con un'altra molecola di ossigeno formando così la molecola di ozono. L'O_3 stratosferico viene distrutto per fotodissociazione. L'O_3 troposferico si forma per effetto della reazione tra ossidi di azoto e idrocarburi in presenza di radiazione solare.

La genesi di un evento di smog fotochimico consta di diverse fasi, che possono essere così schematizzate[58]:

1. un'atmosfera ricca di inquinanti primari, quali ossidi di azoto e

idrocarburi volatili, nonché di precursori di radicali OH, come acido nitroso, formaldeide, ozono e PAN, viene investita dalla radiazione solare UV;
2. la radiazione UV provoca la fotolisi di acido nitroso, formaldeide, ozono e PAN (in ordine crescente di livello di energia ultravioletta necessaria per la fotolisi), con produzione di radicali OH;
3. i radicali OH attaccano varie specie di idrocarburi volatili reattivi, innescando una serie di reazioni a catena che portano alla degradazione delle molecole di idrocarburi e alla formazione di radicali perossido;
4. i radicali RO_2 ossidano l'NO, producendo NO_2. Ogni radicale partecipa a parecchi cicli di conversione di NO a NO_2 prima di estinguersi.

A questo punto si possono verificare le due reazioni seguenti:
a. il biossido di azoto, per fotolisi, produce ozono, rigenerando una molecola di NO che torna ad essere disponibile per una nuova ossidazione;
b. in alternativa, quando la concentrazione di NO diventa sufficientemente bassa, l'NO_2 reagisce con radicali OH, formando acido nitrico (HNO_3), o con radicali perossiacetile formando i PAN, prodotti terminali che esauriscono la catena di reazioni. In tal caso, l'NO_2 viene rimosso dal ciclo fotochimico.

La concentrazione di ozono nell'aria *indoor* dipende dai valori *outdoor*, dal numero di ricambi d'aria, dalla rimozione di ozono dalle superfici dei materiali nonché dalle reazioni tra ozono e altre sostanze presenti nell'ambiente confinato. Per quanto riguarda l'aspetto sanitario, a basse concentrazioni provoca mal di testa e spossatezza, mentre l'esposizione a concentrazioni molto elevate può determinare irritazioni e flogosi delle vie aeree[59]. Il valore guida di concentrazione di ozono suggerito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità – OMS è di 120 $\mu g/m^3$ per una media giornaliera di 8 h[60]. Essendo un forte ossidante (vedi § 14.3), favorendo la formazione di perossidi e radicali liberi, può danneggiare soprattutto i materiali organici e in particolare coloranti e pigmenti causandone sbiadimenti e scolorimenti. L'attacco ossidante può agire su leganti e supporti delle fotografie (incluse le stampe digitali).

Anche l'ossigeno è un agente dannoso in grado di determinare alterazioni chimiche quali ingiallimenti e sbiadimenti dei colori e, in mezzo umido, corrosione dei metalli quali il ferro. Del resto un ambiente controllato povero di ossigeno presenta notoriamente vantaggi e viene utilizzato per la conservazione di vari manufatti.

Perossidi Il più comune è il perossido di ossigeno (H_2O_2). Noto come acqua ossigenata, risulta estremamente reattivo a causa del legame ossigeno-ossigeno. I perossidi possono reagire con altri inquinanti gassosi come NO_x per generare acidi e radicali idrossilici. Si originano sia da fonti esterne (reazione tra ossido di azoto e idrocarburi, VOCs e inquinanti organici o come sottoprodotti di reazioni atmosferiche con il carburante gasolio) sia interne (emissione da deterioramento dei materiali organici quali legno, cartone, carte *resin coated*, pitture a olio e da attività microbica ecc.).

Fortemente ossidanti rappresentano un grave rischio per le collezioni in quanto possono degradare la struttura dei materiali organici spezzando il doppio legame carbonio-carbonio. I perossidi favoriscono inoltre lo scolorimento di stampe fotografiche, l'imbrunimento dei materiali cellulosici e l'annerimento dell'argento per riduzione dei composti solforici; sono in grado di

intaccare i materiali proteici.

Facendo riferimento allo studio di Alì *et al.* (2012), precedentemente citato, riguardo al danno da specchio d'argento, è stato dimostrato che il perossido di idrogeno causa un decadimento dell'immagine anche più grave dell'idrogeno solforato e il fatto che la gelatina sia molto soggetta all'ossidazione è altresì confermata dai risultati dei test applicati. È stata infatti utilizzata l'analisi degli amminoacidi per studiare i cambiamenti della composizione amminoacidica della gelatina fotografica, prima e dopo invecchiamento artificiale. L'ossidazione delle catene laterali degli amminoacidi che compongono la gelatina emulsionata con gli alogenuri risulta essere un indicatore valido della sua degradazione.

I perossidi derivanti dagli involucri di tipo *pergamin* sembrano influire nella formazione dello specchio sulle lastre di vetro. Infine, possono anche essere adsorbiti dai contenitori interni con cui possono reagire e danneggiarne le superfici oppure essere rilasciati successivamente nell'ambiente. Come tutte le sostanze ossidanti sono in grado di esplicare danni a livello del DNA, carboidrati e proteine; in particolare H_2O_2 può irritare occhi, pelle e mucose.

Vapore acqueo Il vapor d'acqua, pur essendo presente nell'atmosfera terrestre in quantità molto piccole e variabili, è uno dei suoi componenti più importanti, perché dalla sua condensazione hanno origine tutti i fenomeni meteorologici. La quantità di vapor d'acqua in atmosfera si misura come umidità dell'aria. Quindi l'aria presente nell'atmosfera contiene sempre acqua sotto forma di vapore che costituisce l'umidità atmosferica.

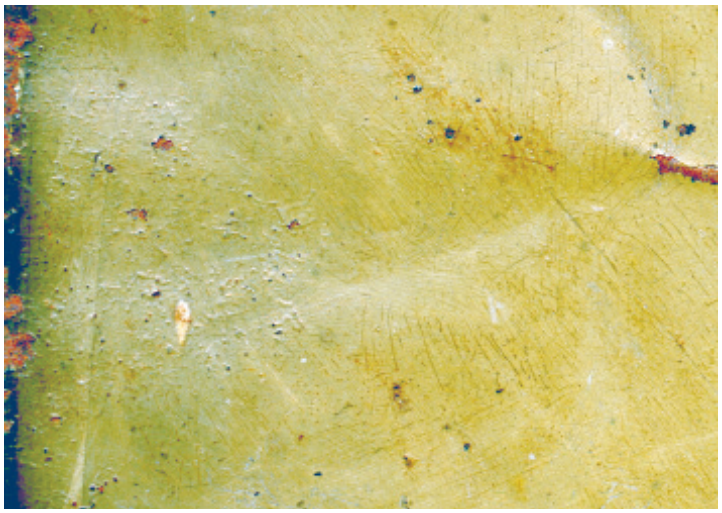
Il vapore acqueo è uno dei parametri più importanti da valutare nei programmi di prevenzione e conservazione del patrimonio culturale. Si origina da fonti esterne (giornate altamente umide, presenza di corpi di acqua ecc.) e interne (umidificatori, attività umane, igiene ambientale ecc.).

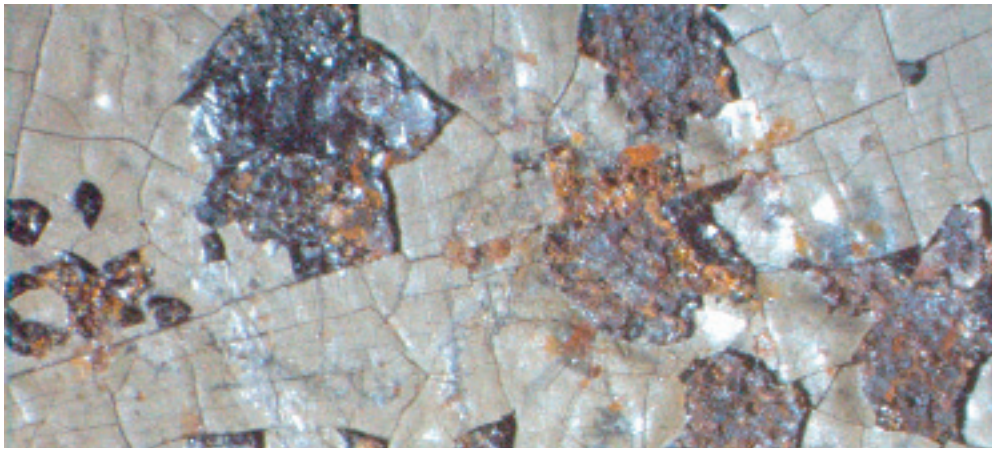
Oltre a essere responsabile di effetti diretti sui beni, aumenta il grado di corrosione e di deterioramento dei materiali. Coinvolto nella maggior parte dei processi chimici, aumenta la reazione di idrolisi nei materiali organici indebolendo ad esempio i supporti cartacei, esalta gli effetti degli ossidi di azoto sulle stampe fotografiche, favorisce lo scolorimento dei coloranti e la corrosione dei metalli.

Nelle immagini relative a un ferrotipo (figg. 6.13–6.13b) sono visibili alcuni particolari che mostrano numerosi punti di corrosione sul metallo con distacchi dello strato immagine costituito da collodio. Il supporto esposto all'aria umida (affinché avvenga la corrosione devono essere presenti contemporaneamente ossigeno e acqua) si corrode e si ricopre di un ossido ferrico idrato dal colore bruno-rossiccio, comunemente detto ruggine. Il fenomeno è progressivo, infatti la ruggine, porosa e friabile, si stacca dalla superficie e lascia la zona sottostante esposta a ulteriore ossidazione; in tal modo la corrosione procede inesorabilmente.

Inquinanti fisici Per quanto riguarda gli inquinanti fisici *indoor*, di origine interna o esterna ai locali, essi includono una serie di elementi nocivi per l'uomo quali: l'amianto, riconosciuto agente cancerogeno e pertanto vietato ma che in vecchi edifici risulta ancora presente come materiale di rivestimento e/o insonorizzazione, e il radon, elemento radioattivo contenuto all'interno di materiali come tufo e granito. Il radon, gas nobile, incolore, inodore e chimicamente inerte tende ad accumularsi negli ambienti confinati (soprattutto seminterrati, interrati, cantine). I suoi effetti cancerogeni per l'emissione di particelle *alfa* durante il suo decadimento sono stati riconosciuti dallo IARC fin dal 1988; l'esposizione a tale gas è considerata causa di







Figg. 6.13, 6.13a, 6.13b

Particolare di ferrotipo, fine Ottocento, con evidenti fenomeni di corrosione ben visibili in diversi punti della lastra (fig. 6.13, in alto), sia nel dettaglio (fig. 6.13a, a lato) sia nell'ingrandimento allo stereomicroscopio (fig. 6.13b, in basso). Visibili sono anche le crettature del collodio e le deformazioni del supporto dovuto a non idonea conservazione

molte migliaia di decessi ogni anno. Tra gli inquinanti fisici, oltre alle onde elettromagnetiche non ionizzanti generate da attrezzature con riscaldamento elettrico o a resistenza (lampade elettriche ecc.), figura il rumore che negli ambienti *indoor* è spesso collegato ai grandi centri abitati ove le fonti principali esterne possono essere individuate principalmente nel traffico veicolare e aereo e le fonti interne in impianti termici e idraulici, fotocopiatrici ecc.

Non essendo però gli inquinanti fisici di interesse specifico per le collezioni fotografiche, si rimanda un loro approfondimento a testi dedicati.

6.4 La pericolosità del particolato atmosferico

Il materiale particolato o particolato aerodisperso, pulviscolo atmosferico, insieme di polveri o anche aerosol, comprende tutte le particelle di diametro variabile, solide o goccioline liquide, presenti nell'aria in sospensione, che concorrono all'inquinamento atmosferico; possono essere primarie, se vengono emesse come tali, e secondarie se si originano da una serie di reazioni chimiche e fisiche in atmosfera. Queste particelle hanno una composizione chimica molto differenziata e i diametri variano da 0,001 µm a 500 µm. Dato che le loro dimensioni e densità sono molteplici, è diverso anche il tempo durante il quale esse rimangono in sospensione nell'aria. La velocità di sedimentazione, infatti, è proporzionale alla grandezza della particella. La concentrazione del particolato aerodisperso definito come Particolato Totale Sospeso – PTS viene misurata in µg/m^3.

Il particolato (*particulate matter* – PM), la cui concentrazione viene misurata sempre in µg/m^3, è costituito invece da particelle di materiale carbonioso, da composti organici volatili o semi-volatili adsorbiti sulle particelle carboniose, da sali minerali, metalli di transizione, materiali di origine biologica, fibre, polvere di carbone, cemento e minerali. Negli ambienti confinati la composizione del particolato risente delle caratteristiche degli edifici, delle apparecchiature presenti, degli occupanti e delle attività svolte, e nel caso di musei, biblioteche e archivi i visitatori ne costituiscono la fonte principale.

Le particelle sono classificate in base alle loro dimensioni:

- PM_{10} con ø aerodinamico inferiore a 10 µm (si tratta di particolato inalabile in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore – naso e laringe);
- $PM_{2,5}$ con ø inferiore a 2,5 µm, in grado di penetrare fino ai bronchi terminali e agli alveoli;
- PM_1 con ø inferiore a 1 µm.

Il valore limite massimo da non superare della frazione fine del particellato è intorno ai 20–30 µg/m^3. La composizione chimica della frazione minerale che è possibile analizzare nelle polveri sottili PM_{10} è costituita da nitrati, solfati, sali di ammonio, polveri come silicati ecc. Una parte di queste polveri è solubile in acqua scatenando l'innesco di reazioni chimiche sulle superfici ove sono depositate, con sviluppo di vari processi tra cui la corrosione.

Il particolato sospeso è costituito anche da una componente biologica caratterizzata da particelle vitali e non vitali che depositandosi sul substrato lo arricchiscono di nutrienti e contaminanti. Il particolato rappresenta quindi la forma più visibile dell'inquinamento dell'aria; in atmosfera, infatti, si trovano comunemente sia particelle formate da aggregati di poche molecole che particelle visibili ad occhio nudo.

Buona parte del materiale particolato minerale presente in atmosfera inquinata è in forma di ossidi e altri composti derivanti dalla combustione di combustibili fossili ad alto contenuto di ceneri.

I differenti processi di deposizione hanno un effetto diverso a seconda del tipo di particella, essi possono agire simultaneamente per uno stesso tipo, sia in modo sinergico sia in opposizione. È implicito, quindi, che il sistema di deposizione è un processo piuttosto complesso e come è stato già evidenziato, le dimensioni delle particelle sono determinanti nel forzare o meno i meccanismi di trasporto e di deposito.

Il livello di aggressività di un certo inquinante aerodisperso quindi non è legato solo alla sua concentrazione in aria, ma anche ai meccanismi che ne governano il trasporto e il deposito.

Le condizioni termoigrometriche ambientali influenzano il comportamento degli inquinanti e la loro deposizione sulle superfici dipende sia dalla concentrazione delle particelle stesse sia dalla velocità di deposizione[61]. I processi di deposizione si possono raggruppare nelle tipologie descritte:

- browniana – agisce in modo dominante su particelle molto piccole ed è dovuta alle molecole in atmosfera sempre dotate di violenta agitazione. La deposizione è determinata dagli impatti casuali con la superficie del materiale. Per le particelle più grandi è poco efficace;
- termoforetica – dovuta alla presenza di un gradiente termico tra l'atmosfera e la superficie del materiale;
- diffusioforetica – legata alla presenza di un gradiente di concentrazione di vapore;
- cattura aerodinamica o deposizione inerziale – si ha quando le forze inerziali agenti sulle particelle prevalgono su quelle viscose. Si tratta del più importante meccanismo attivo di rimozione delle particelle in atmosfera. Questo tipo di processo risulta essere efficace solo per particelle con raggio maggiore di 1 μm e ha la sua massima efficienza per particelle sui 4÷5 μm;
- gravitazionale – avviene per particelle più grandi. È regolata dalla legge di Stokes (valida per particelle sferiche), dedotta dal matematico e fisico George Stokes nel 1851. La velocità di deposizione, infatti, è proporzionale al quadrato del diametro della particella, con un fattore di correzione aerodinamica (9) per le particelle più piccole.

$$v = 2r^2 g\,(\Delta\rho)/9\eta \qquad (6.9)$$

v = velocità di deposizione
r = raggio della particella sferica
g = accelerazione gravitazionale
η = coefficiente di viscosità del fluido
Δρ = differenza di densità della particella sferica e del fluido

Per l'uomo la pericolosità del particolato è associata alla capacità di quest'ultimo di adsorbire gas e vapori tossici sulla superficie delle particelle, contribuendo così ad aumentare le concentrazioni degli inquinanti gassosi che possono raggiungere le parti più profonde dell'apparato respiratorio. La frazione più pericolosa è quella più fine in quanto in grado di superare la barriera delle vie respiratorie. Secondo uno studio dell'OMS il particolato $PM_{2,5}$ è stato riconosciuto responsabile di disturbi alla nascita e di malattie respiratorie tra i bambini; può provocare arteriosclerosi[62].

Negli ultimi anni si è focalizzata l'attenzione sul particolato ultrafine $PM_{0,1}$, le cosiddette nanopolveri (ø medio compreso tra 0,2 nm e 100 nm) ritenute le più dannose in quanto raggiungono gli alveoli polmonari rimanendone imprigionate. Possono rilasciare parte delle sostanze inquinanti che trasportano (come idrocarburi policiclici aromatici, SO_x e NO_x), entrare nel circolo sanguigno e penetrare nelle cellule. Il particolato agisce da *carrier* per molti microrganismi (vedi Capitolo 7) inclusi i virus e, in merito, vi è una consistente letteratura scientifica che correla l'incidenza dei casi di infezione virale (come quella da SARS-COV-2 con le concentrazioni di particolato atmosferico).

Il rischio per i manufatti è rappresentato, in generale, dalla possibile abrasione delle superfici e dall'intrappolamento della polvere sui materiali porosi o che presentano crettature o irregolarità, con conseguente sviluppo dei processi di corrosione o di biodeterioramento. Possibile anche lo scolorimento di alcune tipologie di fotografie.

6.5 Monitoraggio degli inquinanti chimici

Per conoscere la composizione dell'aria *indoor* è necessario effettuare campagne di analisi dei vari inquinanti attraverso campionamenti mirati, attivi o passivi[63]; i primi utilizzano sistemi di aspirazione meccanica di volumi noti di aria (pompe), i secondi vengono effettuati senza far uso di aspirazione forzata e controllata.

A tal proposito la UNI 10586:1999 "Documentazione. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti", in merito alla misurazione degli inquinanti raccomanda quanto segue: «[...] Il livello di inquinamento deve essere misurato almeno una volta all'anno e per un periodo di 170 h consecutive per mezzo di opportuni dispositivi analitici [...]. La misurazione deve essere effettuata nei periodi di massimo inquinamento atmosferico esterno [...]».

Risulta utile svolgere monitoraggi quando ancora i beni non sono stati alloggiati negli ambienti conservativi per poter misurare l'IAQ in assenza di eventuali inquinanti rilasciati dai materiali stessi, e successivamente, quando i beni sono stati alloggiati. Questa pratica serve a comprendere al meglio il sistema archivio-materiali e valutare in tal modo gli interventi correttivi da attuare, considerando anche i possibili effetti sulla salute umana.

In relazione alla durata dei campionamenti si parla di monitoraggi a breve o a lungo termine. La frequenza delle misure deve essere pianificata rispetto all'obiettivo prefissato, generalmente le campagne di rilevazione dovrebbero essere effettuate nelle varie stagioni. La raccolta dati nel tempo si rivela utile per monitorare le concentrazioni degli inquinanti e per valutare le loro variazioni. Oltre alla campionatura stagionale, è opportuno valutare la qualità dell'aria tutte le volte che si vengono a creare variazioni all'interno del locale di conservazione come ad esempio interventi correttivi del microclima, mutamenti delle condizioni al contorno, acquisizioni di nuova documentazione, movimentazioni dei materiali ecc.

Le tecniche di campionamento passivo risultano già ben consolidate e applicate per il monitoraggio dei contaminanti in fase disciolta nelle acque sotterranee e nei sedimenti. Per il monitoraggio delle sostanze in fase aeriforme, le prime applicazioni di sistemi di campionamento passivo risalgono già agli anni Settanta.

I campionamenti a breve termine, generalmente realizzati con un cam-

pionatore attivo su cartucce adsorbenti con sistemi di aspirazione meccanici opportunamente calibrati, o mediante dispositivi *canister* (contenitori sottoposti a procedimenti di elettropassivazione e inertizzazione), sono spesso utilizzati per una prima valutazione dei livelli di concentrazione degli inquinanti, in modo da fornire dati istantanei (per capire ad esempio se una sostanza contaminante è presente o meno in concentrazioni particolarmente alte). I campionamenti a lungo termine, svolti con campionatori passivi generalmente di tipo diffusivo (composti da un supporto adsorbente in cui vengono intrappolati i composti volatili di interesse), vengono, invece, impiegati per una valutazione su un periodo esteso con risultati medi.

Il campionamento dell'aria deve avvenire con frequenza oraria e ciascuno strumento determina la concentrazione dell'inquinante specifico mediante il principio analitico caratteristico. Ad esempio gli analizzatori di SO_2 operano sia mediante chemiluminescenza sia mediante fluorescenza UV basandosi sul principio che quando alcune molecole di diossido di zolfo contenute nel campione vengono eccitate da radiazioni UV emettono una caratteristica fluorescenza alla lunghezza d'onda pari a 220–240 nm. Quelli per l'O_3 operano mediante tecnica spettrofotometrica dell'assorbimento UV e quelli per gli ossidi di azoto sfruttano la reazione di chemiluminescenza tra l'NO e l'ozono[64]. Gli analizzatori di CO si basano, invece, su tecniche spettrofotometriche all'infrarosso.

Se l'ambiente investigato è di grandi dimensioni risulta opportuno valutare la possibilità di effettuare una virtuale suddivisione dell'area e stabilire i punti di campionamento. È consigliabile posizionare il campionatore al centro dell'area da monitorare o almeno a una distanza di 1–2 m dalla parete e a un'altezza significativa dal pavimento; inoltre è necessario porre attenzione a eventuali moti d'aria che dipendono da natura ed entità della ventilazione (soprattutto se vengono utilizzati campionatori di tipo passivo) per mantenere costante il processo diffusivo degli inquinanti sulla cartuccia del campionatore. I monitoraggi dovrebbero essere svolti nelle quattro stagioni o almeno due volte all'anno: nella stagione fredda e in quella più calda.

Dal punto di vista del deterioramento, tematica molto dibattuta è quella della definizione dei limiti di esposizione per i vari materiali. Già negli anni Settanta, Robert Howard Garry Thomson, che aveva descritto la natura dei danni causati dall'umidità relativa, dalla luce e dall'inquinamento atmosferico (autore del noto testo del 1978, revisionato nel 1986: "The Museum Environment"), raccomandava che i livelli di biossido di zolfo (valore di concentrazione pari a 10 $\mu g/m^3$ = 3,8 ppb), di biossido di azoto (valore di concentrazione pari a 10 $\mu g/m^3$ = 5,3 ppb) e di ozono (valore di concentrazione pari 2 $\mu g/m^3$ = 5,1 ppb), misurati in aree non inquinate sarebbero dovuti diventare i valori limite da raccomandare in ambito museale. Anche Banks e Baer[65], sempre in quegli anni, stabilirono gli stessi valori limite di concentrazione.

Negli anni Ottanta e Novanta, in campo tossicologico, per definire la relazione esistente fra tempo di esposizione all'inquinante ed effetto sulla salute umana, è stato introdotto il concetto di dose. Il livello più elevato di inquinante, sperimentalmente osservabile, per cui non risulta alcun effetto sanitario avverso viene indicato come indice LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*). Il valore soglia al di sotto del quale non si osserva un effetto avverso viene indicato, invece, come NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*).

L'approccio per la conservazione preventiva, come indicato da Tétrault (2003) è basato sul concetto di LOAED (*Lowest Observed Adverse Effect Dose*: LOAEL × tempo), la dose cumulativa alla quale si osservano le prime evidenze misurabili di effetti avversi, in termini di caratteristiche chimico-fisiche, sui

materiali di interesse. Tali livelli dovrebbero essere determinati per ciascuna combinazione di parametri ambientali (temperatura, umidità relativa, illuminamento, natura oggetto).

Si ricorda che le concentrazioni di gas e vapori sono generalmente espresse in parti per milione (ppm) o per miliardo (ppb) in peso o in volume (ppm_p = 1 mg/Kg; ppm_v = 1 cm^3/m^3) oppure in unità di massa (mg/m^3 o $\mu g/m^3$) alla temperatura di 25°C e alla pressione di 760 mm Hg: $mg/m^3 = ppm_v \times$ peso molecolare/24,45 e $ppm_v = mg/m^3 \times 24{,}45$/peso molecolare.

I valori limite da non superare per gli inquinanti, dettati dall'Atto di Indirizzo, sono riportati in tabella 6.2. Essi derivano da alcuni riferimenti bibliografici disponibili e richiedono alcune precisazioni evidenziate in tabella ove non sono riportati i valori limite di concentrazione per la CO_2 perché non indicati nella letteratura specializzata[66].

Tabella 6.2 – Valori limite raccomandati di concentrazione degli inquinanti aerodispersi negli ambienti museali e archivistici[67].

INQUINANTE	Archivi (NISO TR01/95)	Museo (Brimblecombe)	UNI 10586:1997
Biossido di zolfo (SO_2)	5–10 ppb	<0,4 ppb (vol)	<10 $\mu g/m^3$
Biossido di azoto (NO_2)	5–10 ppb	<2,5 ppb (vol)	<2 $\mu g/m^3$ (NO_x)
Ozono (O_3)	5–10 ppb	1 ppb (vol)	<2 $\mu g/m^3$
Particolato (fine)	rimoz. >95%	rimoz. >95%	≤50 $\mu g/m^3$

Tale monitoraggio sarebbe importante soprattutto in caso di eventi espositivi temporanei.
Coefficienti di conversione (da Thomson, 1986 – vedi nota 67) da ppb a $\mu g/m^3$ e viceversa per:
SO_2 – 1 ppb (0,001 ppm) = 2,6 $\mu g/m^3$ e 1 $\mu g/m^3$ = 0,38 ppb;
NO_2 –1 ppb (0,001 ppm) = 1,9 $\mu g/m^3$ e 1 $\mu g/m^3$ = 0,53 ppb;
O_3 – 1 ppb (0,001 ppm) = 2,0 $\mu g/m^3$ e 1 $\mu g/m^3$ = 0,51 ppb.
Il valore limite NISO per SO_2 appare il più rispondente alla casistica reale, per quanto riguarda i valori limite per NO_x e ozono, i dati di Brimblecombe (vedi nota 66) sono quelli da ritenersi più adeguati.

6.6 Dispositivi di campionamento

I monitoraggi a breve termine (tempo di campionamento compreso tra alcuni minuti e diverse ore) vengono eseguiti con campionatori attivi, quelli a lungo termine (tempo di campionamento da qualche ora a diversi giorni) con campionatori passivi.

Campionatori attivi I campionatori attivi, come già introdotto, sono costituiti da un sistema di aspirazione dell'aria e da un sistema di raccolta che permette di intrappolare la sostanza chimica da esaminare; l'aria aspirata viene immessa in una piccola camera, "cella di misura" il cui contenuto è calcolato istantaneamente attraverso idonei dispositivi. I campionatori passivi differiscono dagli attivi sostanzialmente per il modo in cui si raccoglie l'aria, fanno riferimento infatti al principio della diffusione passiva mediante un mezzo adsorbente. Questi campionatori catturano gli inquinanti *indoor* senza far uso dell'aspirazione forzata, sfruttando cioè il solo processo fisico della diffusione molecolare degli stessi su un adsorbente specifico in grado di reagire con la sostanza da monitorare.

Le varie sostanze vengono captate con diverse velocità in quanto ognuna è caratterizzata da una costante di diffusione. Il prodotto che si forma in se-

guito alla reazione si accumula nel dispositivo e analisi mirate di laboratorio permettono di determinare quantitativamente l'inquinante raccolto. Riguardo ciascuna sostanza le normative individuano lo specifico metodo di riferimento per la determinazione, il principio chimico-fisico di misura e le modalità di funzionamento della strumentazione utilizzata. Campionatore passivo (a diffusione radiale) molto utilizzato è il Radiello®[68] che si basa sulla cattura degli inquinanti appunto per diffusione radiale. Questo campionatore, brevettato dalla Fondazione Salvatore Maugeri di Padova, è costituito da due cilindri concentrici. Nel cilindro interno è contenuta la cartuccia con il materiale adsorbente, mentre il cilindro esterno è costituito da un materiale microporoso attraverso cui i vapori diffondono. La concentrazione di un contaminante viene calcolata mediante analisi gascromatografiche. Si tratta di una tecnica semplice che non fornisce dati in tempo reale ma solo concentrazioni medie relative al periodo di campionamento. La semplicità del campionatore e le sue agevoli modalità di utilizzo ne hanno permesso una ampia diffusione.

Altro tipo di campionatore è quello a trappola chimico-fisica che consiste nel far passare un volume noto di aria in un apposito contenitore, riempito di un prodotto in grado di catturare l'inquinante in esame. Il contenitore può essere un gorgogliatore, un tubo di diffusione (*denuder*) o una cartuccia riempita con una sostanza reagente. Il campionatore a *denuder* è un tubo ricoperto all'interno di una soluzione, poi fatta asciugare, che reagisce con la molecola da determinare[69].

Per il controllo delle polveri il metodo di riferimento ai fini della determinazione del materiale particolato si basa sulla raccolta della "frazione PM_{10}" mediante apposito filtro e sulla successiva determinazione della massa gravimetrica; esistono campionatori per questa frazione costituiti da una pompa che aspira l'aria ambiente attraverso una testa di prelievo in grado di selezionare le polveri con diametro aerodinamico inferiore ai 10 µm. La componente raccolta viene quindi fatta passare attraverso una membrana filtrante pesata poi in laboratorio e per differenza con la tara (filtro bianco) si ricava la massa del particolato. Il campionatore contiene anche un contatore volumetrico in grado di registrare il volume di aria aspirata, corretto in modo continuo mediante sensori di temperatura e pressione interni ed esterni. Quindi dal volume di aria campionata e dalla massa del particolato si calcola la concentrazione di PM_{10} in $\mu g/m^3$. Gli analizzatori di PM_{10}, analogamente ai campionatori, registrano un volume di aria passato attraverso una membrana filtrante, sono però in grado di determinare altresì la massa del particolato. Di quest'ultimo fa parte anche la sezione ultrafine che può essere caratterizzata dalla microscopia elettronica (ESEM) associata ad uno spettroscopio a dispersione d'energia (EDS) in grado di elaborare le immagini ingrandite e caratterizzare sia forma e dimensioni sia composizione atomica delle particelle.

Campionatori passivi I dispositivi di campionamento passivi adatti per i rilievi degli ambienti di conservazione sono comunemente disponibili per monitorare il biossido di azoto, il biossido di zolfo, i VOCs, la formaldeide, l'ozono ecc. I metodi di campionamento passivo non necessitano di aspirazione e sfruttano il processo fisico della diffusione molecolare degli inquinanti sulla base del gradiente di concentrazione tra il mezzo da monitorare e un sistema adsorbente presente nel campionatore.

Nella tabella 6.3 vengono mostrate le caratteristiche di alcuni tipi di dispositivi di campionamento: a lettura diretta (di tipo qualitativo o quantitativo) o a lettura da elaborare mediante analisi di laboratorio.

Tabella 6.3 - Caratteristiche di alcune tipologie di dispositivi di campionamento passivo[70].

TIPOLOGIA DI DISPOSITIVO DI CAMPIONAMENTO PASSIVO – PSD	INQUINANTI RILEVATI E CARATTERISTICHE DI MANIFATTURA DEI DISPOSITIVI
Dispositivi a lettura diretta	
Test strips Strisce reattive colorate di carta impregnata con sostanze chimiche che cambiano colore in risposta agli inquinanti *indoor*.	Esempio: A-D Strips. **Inquinanti rilevati**: CH_3COOH e altri gas acidi. **Lettura**: confronto del colore del test con i colori della matita di riferimento (messo a punto dall'IPI). Simili agli indicatori cartacei di pH. **Risposta**: qualitativa.
***Coupons* metallici** Quadrati di metalli diversi (Cu, Ag, Pb) che reagiscono a specifici inquinanti. L'uso di questi talloncini metallici è una variazione dell'Oddy test (vedi Capitolo 11).	**Inquinanti rilevati**: cloruri, solfuri, acidi inorganici, NO_2, SO_2 ecc. **Lettura**: confronto visivo e microscopico con il *tag* di controllo. La corrosione del Cu è spesso associata a cloruri, solfuri e inquinanti acidi come NO_2 e SO_2. L'Ag reagisce con solfuri come il COS e l'H_2S. Il Pb reagisce con inquinanti organici carbonilici e altri inquinanti acidi. **Risposta**: qualitativa.
Badges Non possiedono una barriera di diffusione per cui l'assorbimento non è limitato. La maggior parte è di tipo colorimetrico. Il cambiamento di colore è proporzionale alla quantità di gas assorbito. La lettura si ottiene confrontando il colore ottenuto con la scala di riferimento fornita.	Esempio: Bio-Check F Badges. **Inquinanti rilevati**: HCHO. **Lettura**: cambiamento di colore dal bianco al rosa e al rosso con crescente concentrazione. **Risposta**: quantitativa. Esempio: EcoBadge®. **Inquinanti rilevati**: O_3. **Lettura**: confronto del colore apparso con tabella colorimetrica comparativa. Il *white paper* diventa da rosa a viola per esposizioni di 1 ora; da bronzo a marrone per esposizioni di 8 ore. **Risposta**: quantitativa. Esempio: SafeAir™ Colorimetric Badge. **Inquinanti rilevati**: HCHO, NO_2, O_3, SO_2. **Lettura**: cambiamento di colore con determinate concentrazioni di inquinanti. **Risposta**: quantitativa.
Tubi di diffusione Tubi riempiti con reagenti agli inquinanti che producono un cambiamento di colore (proporzionale alla concentrazione dell'inquinante esaminato).	Esempio: Dräger Color Diffusion Tubes. **Inquinanti rilevati**: CH_3COOH, NO_2, SO_2. **Lettura**: valutazione della lunghezza del cambio di colore mediante la scala calibrata (ppm/ore) stampata direttamente su ogni tubo. **Risposta**: quantitativa.
Test sticks Strisce reattive all'inquinante *target* con cambio di colore proporzionale alla concentrazione.	Esempio: Ozone Test Sticks. **Inquinanti rilevati**: O_3. **Lettura**: confronto dello sviluppo del colore del test con la scala di riferimento. **Risposta**: quantitativa.
Dispositivi a lettura con analisi di laboratorio	
***Coupons* metallici** Lamine metalliche che reagiscono a specifici inquinanti (metodologia proposta originariamente in campo industriale).	Esempio: Purafil Environmental Reactivity Coupons. **Inquinanti rilevati**: NO_2, SO_2, acidi organici, H_2S, cloruri ecc. Gli strati sottili di Ag e Cu sono elettroliticamente applicati su una striscia di vetro unita a un pannello acrilico. **Lettura**: la presenza degli inquinanti viene dedotta dalla corrosione esattamente dalla dimensione dello spessore dello strato dei prodotti di corrosione. Analisi successiva degli inquinanti. **Risposta**: qualitativa.

Tubi di diffusione A percorso aperto, sono stati sviluppati negli anni Settanta da Palmes. La superficie attiva è un tampone in cellulosa o uno schermo in acciaio trattato.	Esempio: Gradko Diffusion Tubes. **Inquinanti**: NO_2, SO_2, NO, O_3, H_2S, VOCs. **Lettura**: all'interno è presente una sostanza in grado di reagire con l'inquinante. Il prodotto che si forma in seguito alla reazione si accumula nel dispositivo e può essere sfruttato per analisi di laboratorio. **Risposta**: quantitativa.
Badges Gli inquinanti vengono intrappolati. Utilizzati ad esempio nel "J. Paul Getty Museum Monitoring Project".	Esempio: 3M™ Air Monitors. **Inquinanti**: HCOH, VOCs. **Lettura**: il prodotto che si accumula nel rilevatore viene poi analizzato in laboratori accreditati. **Risposta**: quantitativa.

I dispositivi a lettura diretta, di diversa manifattura, individuano i vari inquinanti e rappresentano un modo pratico per monitorare i cambiamenti delle condizioni ambientali; si rivelano soprattutto come utili strumenti di *pre-screening* per identificare aree del locale con concentrazioni di inquinanti elevati che necessitano di ulteriori monitoraggi. Gli analiti volatili vengono lasciati diffondere spontaneamente nella fase stazionaria trattenuta da un supporto (tubi di diffusione, *coupons*, *badges*)[71].

I risultati di un dispositivo a lettura diretta disponibili dopo un'esposizione di minuti/ore/giorni/settimane si basano sulla reazione tra la/e sostanza/e chimica/e con la superficie del dispositivo e le sostanze presenti nell'aria, di solito come conseguente cambiamento di colore. Di semplice utilizzo, forniscono rapidi risultati visibili interpretabili dal conservatore e possono dare risposte di tipo sia qualitativo che quantitativo. I dispositivi a lettura diretta qualitativa hanno semplicemente una superficie attiva che reagisce con le sostanze inquinanti dell'ambiente. Possono essere semplici *coupons* in metallo reattivo o strisce di carta. È possibile utilizzare i dati ricavati per indicare il rischio potenziale per le collezioni dalla qualità dell'aria interna. I dispositivi con lettura di tipo quantitativo forniscono, invece, reali concentrazioni di inquinanti, riportati come misura volumetrica (ppm o ppb) o gravimetrica (mg/m^3 o $\mu g/m^3$). Anche se forniscono risultati quasi istantanei, i dispositivi a lettura diretta non sono sempre così istruttivi come quelli che vengono poi analizzati in laboratorio e che determinano il tempo di esposizione totale, il volume di aria campionata, la quantità di inquinante rilevata e la concentrazione. Inoltre questi ultimi presentano maggiore precisione e specificità. Oltre ai vantaggi sopra elencati, ulteriori note positive dei campionatori passivi rispetto ai metodi di quelli attivi tradizionali sono i minori costi, i protocolli di campionamento più semplici e i tempi di campionamento (generalmente superiori a 24 ore) che consentono di ottenere dati con una minore variabilità. Questi campionatori possono essere utili per valutare l'esposizione media ponderata a lungo termine con un numero inferiore di campioni rispetto ai metodi convenzionali.

Tra i dispositivi di campionamento più noti in ambito museale, librario e archivistico, mostrati in tabella, vi sono le A-D Strips (vedi § 12.1) e il test brevettato dalla Purafil Inc™: CCC – Corrosion Classification Coupons. Le *strips* assumono colorazioni diverse (dal blu originale al verde fino al giallo) a seconda delle concentrazioni di sostanze acide e sono usate per valutare semplicemente e rapidamente la qualità dell'aria di ambienti in cui sono conservate pellicole in acetato di cellulosa che, come noto, rilasciano acido acetico responsabile della "sindrome acetica". Il colore assunto viene con-

frontato con una carta di riferimento standard tarata cui fanno riferimento diversi interventi consigliabili da attuare. La lettura delle A-D Strips può essere effettuata dopo 24 h a seconda della temperatura ambientale (a 20°C sono sufficienti 24 h). In condizioni di basse temperature per una lettura accurata si devono aspettare invece 2-3 giorni. Se l'indicatore non ha reagito entro questo periodo di tempo l'ambiente non è da considerarsi critico.

Altro test su cui si può fare riferimento è quello della Purafil Inc.™ utilizzato in campo industriale per la protezione delle apparecchiature dalla corrosione e applicato anche in molti importanti musei d'Italia. Il test consiste (vedi anche tab. 6.3), in lamine metalliche, di rame e di argento, da esporre per un tempo prestabilito (almeno un mese), nei locali da monitorare.

La normativa The International Society of Automation ISA-S71.04-1985[72] era quella di riferimento per valutare il livello di severità associato al film di corrosione [misurato in ångström (Å) = 0,1 nm] che si sviluppava su di una lamina di rame. La classificazione indentificava 4 livelli di severità: G1 = dolce; G2 = moderata; G3 = forte; GX = severa. A questi corrispondevano 4 livelli di reattività del rame (a 30 giorni) rispettivamente di: <300 Å; <1.000 Å; <2.000 Å; >2.000 Å. Nell'effetto si specificava che la temperatura e l'umidità relativa potevano interagire con la presenza dei gas in atmosfera rendendoli ancora più aggressivi. Le concentrazioni si riferivano ad ambienti con umidità relativa inferiore al 50%. Per una data concentrazione di gas, il grado di severità (e il relativo film di corrosione sulla lamina di rame), poteva crescere di un livello quando l'umidità relativa risultava superiore al 50%.

Il metodo è stato applicato in ambito culturale e promosso dal Comitato Termotecnico Italiano che ha coinvolto importanti musei in Italia. Lo spessore dello strato corrosivo del campione indica la reattività dell'aria e la relazione tra gas inquinante e corrosione. È descritto come[73]:

$$x = k \times t^n \qquad (6.10)$$

x = spessore dello strato dei prodotti della corrosione (generalmente in Å)
k = costante di proporzionalità
t = tempo di esposizione
n = esponente di valore ≤1*
* correlato a k e dipendente da x: n(x) = 0,3 (inquinamento leggero), 0,5 (moderato) o 1 (pesante o severo)

La Purafil Inc™ ha poi messo a punto un esame del livello di corrosione basato su una classificazione di 5 categorie con diversi valori soglia di corrosione dei *tag* di rame e di argento dopo una esposizione di 30 giorni (tab. 6.4)[74].

Tabella 6.4 – Ipotesi di classificazione della qualità dell'aria nei musei.

QUALITÀ ARIA	RAME		ARGENTO	
	Classe	Corrosione (Å/30 giorni)	Classe	Corrosione (Å/30 giorni)
Molto pura	C1	<90	S1	<40
Pura	C2	<150	S2	<100
Pulita	C3	<250	S3	<200
Leggermente contaminata	C4	<350	S4	<300
Contaminata	C5	≥350	S5	≥300

Il gruppo di studio del Comitato Termotecnico Italiano ha proposto una classificazione semplificata che si basa su soglie che richiedono attenzione o segnalazione di pericolo: attenzione per Cu = 250 Å e pericolo = 350 Å; attenzione per Ag = 200 Å e pericolo = 300 Å[75].

Lo standard ISA del 1985 è stato, nel 2013, revisionato nell'ANSI/ISA 71.04-2013[76] che ha definito nuovi limiti per misurare il livello di severità ambientale. Per certificare un livello di purezza dell'aria in classe G1, non è più sufficiente misurare un film di corrosione sul rame (normalizzato a 30 giorni) inferiore a 300 Å, ma è necessario che la lamina d'argento non accumuli un film di corrosione superiore a 200 Å (tab. 6.5). In caso di superamento delle soglie previste anche per un solo metallo, si sale ai livelli di corrosività superiori (G2, G3, GX).

Tabella 6.5 – Classi di corrosione secondo l'ANSI/ISA71.04-2013.

LIVELLO DI SEVERITÀ	RAME	ARGENTO
	Corrosione (Å/30 giorni)	Corrosione (Å/30 giorni)
G1 dolce	<300	<200
G2 moderata	<1.000	<1.000
G3 pericolosa	<2.000	<2.000
GX severa	>2.000	>2.000

Per l'utilizzo negli archivi fotografici i livelli devono collocarsi nelle classi corrispondenti ad elevata purezza[77].

Disponibile è anche il CCC+ – Corrosion Classification Coupons che, per mezzo di sensori, registra temperatura e umidità relativa.

I risultati di tutti questi test sono quindi indicativi degli effetti cumulati derivanti dalle condizioni ambientali.

Altri sistemi di misura sono i lettori in tempo reale quale l'OnGuard[78] (sviluppato a metà degli anni 1990), costituto da sensori di cristalli di quarzo placcati di rame ed argento che subiscono la corrosione da parte dei gas presenti negli ambienti confinati; il grado di corrosione (dopo circa 3 mesi di esposizione) è misurato in tempo reale in funzione continua rispetto al tempo. Utilizzati da vari archivi olandesi e americani, questi strumenti possono rilevare contemporaneamente anche la temperatura, l'umidità relativa e la pressione atmosferica, elementi che influiscono sulla velocità di corrosione. Con entrambe le metodiche è possibile conoscere però solo in modo approssimativo la composizione dell'aria.

Facendo riferimento ai beni culturali, per la conservazione a lungo termine, i livelli di inquinanti dovrebbero essere al di sotto di 1 ppm per quelli gassosi e minori di 1 $\mu g/m^3$ per il particolato fine con particelle di diametro comprese tra 0,05 e 2 mm, il cui comportamento è assimilabile a quello dei gas.

I materiali adsorbenti utilizzati nei campionatori passivi devono essere selezionati in funzione dei composti *target* da ricercare. Essi possono essere classificati in due categorie generali: materiali adsorbenti che richiedono una successiva estrazione con solvente (desorbimento chimico) e materiali con minore capacità adsorbente che possono essere analizzati mediante desorbimento termico. I carboni attivi sono gli adsorbenti generalmente più utilizzati per la successiva estrazione con solvente (tipicamente con solfuro di carbonio).

Essi garantiscono un adsorbimento efficiente per una vasta gamma di composti organici e una buona ritenzione dei contaminanti (fenomeno della retro-diffusione ovvero "back-diffusion" limitato). I materiali a desorbimento termico sono invece caratterizzati da una superficie specifica minore e di conseguenza da una minore capacità di ritenzione dei composti organici. Quelli più utilizzati nei campionatori passivi sono: polimeri porosi, carbone nero grafitato, setacci molecolari a base di carbonio. Il mercato offre una vasta gamma di apparecchiature/dispositivi utilizzabili per la misura delle sostanze inquinanti.

Nella comprensibile difficoltà di poter effettuare però queste misurazioni impegnative, si raccomanda l'utilizzo dei dispositivi passivi, economici, di rapida lettura diretta, che forniscono un valido supporto in questo ambito.

Note alle immagini

Figg. 6.1, 6.1a, 6.2, 6.3, 6.3a, 6.4, 6.4a, 6.5, 6.6, 6.6a, 6.7, 6.8, 6.8a, 6.9, 6.10, 6.10a, 6.11, 6.12, 6.13 e 6.13a riprese fotografiche eseguite da Roberto Bianchi.

Figg. 6.11a ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Donatella Matè.

Figg. 6.13b ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Vittorio Bianchi Matè.

I materiali fotografici relativi alle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] G. Settimo, *La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari*, in *Notiziario dell'Istituto Superiore di Sanità*, 25, 5, 2012, pp. 7–10.

[2] N.S. Baer, P.N. Banks, *Indoor air pollution: Effects on cultural and historic materials*, in *International Journal of Museum Management and Curatorship*, 4, 1, 1985, pp. 9–20, DOI: 10.1016/0260-4779(85)90049-4; IAQ, *Indoor Air Quality 2012. 10th International Conference, Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments "Standards and Guidelines"*, Book of Abstracts, University College London, Centre for Sustainable Heritage London, UK, 17th–20th June 2012, pp. 1–115, da: http://iaq.dk/iap/iaq2012/IAQ2012_Book_of_Abstracts_on-line.pdf (consultato il 19/06/2022).

[3] B. Lavédrine, *A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2003.

[4] ANSI/ASHRAE Standard 62-2001, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.

[5] WHO – World Health Organization, Regional Office for Europe, *The Right to Healthy Indoor Air*, Report on WHO meeting, Bilthoven, The Netherlands 15th-17th May 2000, European HEALTH21 Targets 10, 13, 2000, da: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/117316/E69828.pdf (consultato il 19/06/2022).

[6] WHO – World Health Organization, Regional Office for Europe, *Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould*, Copenhagen, World Health Organization, Regional Office for Europe, 2009, pp. 1–228, https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf (consultato il 19/06/2022).

[7] WHO – World Health Organization, Regional Office for Europe, *Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*, Copenhagen, World Health Organization, Regional Office for Europe, 2010, pp. 1–454, da: https://www.euro.who.int/__dataassets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf (consultato il 18/06/2022).

[8] L. Bonadonna, R. Briancesco, B. Brunetto, A.M. Coccia, V. De Gironimo, S. Della Libera, S. Fuselli, P.M.B. Gucci, P. Iacovacci, I. Lacchetti, G. La Rosa, P. Meloni, R. Paradiso, C. Pini, M. Semproni per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento In-

door, *Strategie di Monitoraggio dell'Inquinamento di Origine Biologica dell'Aria in Ambiente Indoor*, Roma, Istituto Superiore di Sanità (Rapporti ISTISAN 13/37), 2013.

[9] UNI 10339:1995, *Impianti aeraulici ai fini del benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura,* Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1995.

[10] EN ISO 16017-1:2002, *Aria in ambienti confinati, aria ambiente ed aria negli ambienti di lavoro – Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare – Campionamento mediante aspirazione con pompa*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2002.

[11] EN ISO 16017-2:2004, *Aria in ambienti confinati, aria ambiente ed aria negli ambienti di lavoro – Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare – Parte 2: Campionamento per diffusione*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2004.

[12] UNI EN ISO 16000-1:2006, *Aria in ambienti confinati – Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2006.

[13] UNI EN 16798-1:2019, *Prestazione energetica degli edifici – Ventilazione per gli edifici – Parte 1: Parametri di ingresso*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2019.

[14] UNI EN 481:1994, *Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1994.

[15] UNI ISO 7708:1998, *Qualità dell'aria – Definizioni delle frazioni granulometriche per il campionamento relativo agli effetti sanitari*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1998.

[16] UNI EN 482:2021, *Esposizione nei luoghi di lavoro – Procedure per la determinazione della concentrazione degli agenti chimici – Requisiti prestazionali di base*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2015.

[17] UNI EN 13098:2019, *Esposizione nei luoghi di lavoro – Misurazione dei microrganismi aerodispersi e dei composti microbici – Requisiti generali*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2019.

[18] UNI 11108:2004, *Qualità dell'aria – Metodo di campionamento e conteggio dei granuli pollinici e delle spore fungine aerodisperse*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2004.

[19] UNI CEN/TS 16115-1:2011, *Qualità dell'aria ambiente – Misurazione di bioaerosol – Parte 1: Determinazione di muffe utilizzando sistemi di campionamento di filtrazione e coltivazione*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2011.

[20] UNI EN 1540:2012, *Esposizione nell'ambiente di lavoro – Terminologia*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2012.

[21] M*i*BAC, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, D.Lgs n. 112/1998, art. 150, comma 6, Gazzetta Ufficiale n. 244 (supplemento), 19 ottobre 2001, fascicolo 238, Ambito IV, Roma.

[22] M. Schwenk, *Multiple Chemical Sensitivity (MCS). Scientific and public-health aspects*, in *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 3, 2004, PMID: 22073047.

[23] S.A. Abdul-Wahab (ed.), *Sick Building Syndrome in Public Buildings and Workplaces*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2011.

[24] D.W. Black, S. Temple, *Idiopathic Environmental Intolerance (multiple chemical sensitivity)*, 2018, da: https://www.uptodate.com/contents/idiopathic-environmental-intolerance-multiple-chemical-sensitivity/print (consultato il 19/06/2022); S. Rossi, A. Pitidis, *Multiple chemical sensitivity. Review of the state of the art in epidemiology, diagnosis, and future perspectives,* in *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60, 2, 2018, pp. 138–146, DOI: 10.1097/JOM.0000000000001215, PMID: 29111991.

[25] P.B. Hatchfield, *Pollutants in the Museum Environment*, London, Archetype Publications, 2002.

[26] J. Tétreault, *Polluants dans les Musées et les Archives: Evaluation des Risques, Stratégies de*

Contrôle et Gestion de la Prèservation, Ottawa, Institut Canadien De Conservation, 2003.

[27] N.S. Baer, P.N. Banks 1985, *op. cit.*; P. Brimblecombe, *The composition of museum atmospheres* in *Atmospheric Environment*, 24, 2, 1990, pp. 1-8, DOI: 10.1016/0957-1272(90)90003-D; P. Brimblecombe, *Air Composition and Chemistry,* Cambridge, Cambridge University Press, 1986/1996; M. Ryhl-Svendsen, *Pollution in the photographic archive – a practical approach to the problem*, in *IADA Congress 1999 Preprints*, M.S. Koch, J. Palm (eds.), Copenhagen, The Royal Academy of Fine Arts, pp. 211-215; N. Blades, T. Oreszczyn, B. Bordass, M. Cassar, *Guidelines on Pollution Control in Museum Buildings*, London, Museum Practice, Museums Association, 2000; J. Tétreault 2003, *op. cit.*; L. Residori, *Fotografie. Materiali Fotografici, Processi e Tecniche, Degradazione, Analisi e Diagnosi*, Collana i Talenti, Padova, il prato, 2009.

[28] T.-P. Nguyen, B. Lavédrine, F. Flieder, *Effects of NO_2 and SO_2 on the degradation of photographic gelatin*, in *The Imaging Science Journal*, 45, 3-4, 1997, pp. 239-244; T.-P. Nguyen, B. Lavédrine, F. Flieder, *Effets de la pollution atmosphérique sur la dégradation de la gélatine photographique*, in *12th ICOM-CC triennal meeting, Lyon, 29 August-3 September 1999, Preprints*, Londres, James & James pour l'ICOM, 1999, pp. 567-570.

[29] AIC-American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, *PMG Section. 1.3 Effects of Exhibition on Photographic Materials*, Photographic Materials Conservation Catalog Chapter 1 – Exhibition Guidelines for Photographic Materials, July 2004, da: http://www.conservation-wiki.com/wiki/PMG_Section_1.3_Effects_of_Exhibition_on_Photographic_Materials (consultato 16/06/2022).

[30] S. Barger, W. White, *The Daguerreotype: Nineteenth Century Technology and Modern Science*, Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 1991; L.A. Daffner, D. Kushel, J.M. Messinger II, *Investigation of surface tarnish found on 19th Century daguerreotypes*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 35, 1, 1996, pp. 8-21, DOI: 10.2307/3179935.

[31] ProGold S.r.l. – Laboratorio Ricerca e Sviluppo, *Tarnish Phenomena of Silver: Chemical Interactions, Analysis Methods and Real-Life Estimation*, 2007, pp. 1-22, da: https://studylibit.com/doc/1390134/fenomeni-di-solfurazione-dell-argento (consultato il 19/06/2022).

[32] T. Beldjoudi, N. Lacoudre, L. Espie, J. Dugot, *Étude prédictive de la solfuration d'objects métalliques argentés*, in *La lettre de l'OCIM*, 66, 1999, pp. 25-30, da: http://doc.ocim.fr/LO/LO066/LO.66(5)-pp.25-30.pdf (consultato il 19/06/2022).

[33] J.M. Reilly, *The Albumen & Salted Paper Book: The history and practice of photographic printing, 1840-1895*, *Chap. 11, The Question of Permanence*, Rochester, Light Impressions Corporation, 1980, pp. 101-111, da: https://cool.culturalheritage.org/albumen/library/monographs/reilly/albumen-reilly_delivery.pdf (consultato il 19/06/2022).

[34] D. Nishimura, *Sulfiding of Silver Images*, Cons DistList post, Image Permanence Institute, 1993, da: http://cool.conservation-us.org/byform/mailing-lists/cdl/1993/0386.html (consultato il 19/06/2022).

[35] R.W. Henn, D.G. Wiest, *Microscopic spots in processed microfilm: their nature and prevention*, in *Photographic Science and Engineering*, 7, 5, 1963, pp. 253-261.

[36] G. Di Pietro, *Silver mirroring on silver gelatin glass negatives*, Inaugural Dissertation zur Erlangung des Würde eines Doktor der Philosophie vorgelegt der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel, 2002, pp. 1-94, da: http://edoc.unibas.ch/34/1/DissB_6232.pdf (consultato il 19/06/2022); G. Di Pietro, F. Ligterink, *Silver mirroring edge patterns. A diffusion-reaction models for the formation of silver mirroring on silver gelatin glass plates*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 41, 2, 2002, pp. 111-126; G. Di Pietro, *A local microscopic model for the formation of silver mirroring on black and white photographs*, in *Proceedings of Metal 2004 National Museum of Australia Canberra ACT, 4-8 October 2004*, pp. 126-136, da: https://www.researchgate.net/publication/237631478_A_local_microscopic_model_for_the_formation_of_silver_mirroring_on_black_and_white_photographs (consultato il 19/06/2022).

[37] M.A. Ali, M.F. Ali, M.O. Saker, A.A.E.B. Abdel Aleem, K.I. El Nagar, *Investigations on the chemical*

of silver gelatin prints, in *International Journal of Conservation Science*, 3, 2, 2012, pp. 93-106.

[38] P.B. Hatchfield 2002, *op. cit.*

[39] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[40] T.-P. Nguyen *et al.* 1997, *op. cit.*; T.-P. Nguyen *et al.* 1999, *op. cit.*

[41] *Ibid.*

[42] UNI EN ISO 16000-15:2008, *Aria in ambienti confinati – Parte 15: Strategia di campionamento diossido di azoto – NO_2*, Milano, Ente nazionale italiano di unificazione, 2008.

[43] G. Alfano, F.R. d'Ambrosio, G. Riccio, *La misura della CO_2 per valutare l'IAQ*, in *Sistemi e Impianti per il Controllo della Qualità dell'Aria e dell'Umidità*, Bologna, AICARR, 2002, pp. 19-32; G. Alfano, F.R. D'Ambrosio, F. Liotti, M. Peduto, A. Perrotta, G. Riccio, *La qualità dell'aria interna e i cancerogeni*, in *Oncologia. Dalla Clinica alla Medicina Legale*, L. Palmieri (ed.), Napoli, Giuffrè Editore, 2006, pp. 245-275.

[44] G. Muzi, M. dell'Olmo, N. Murgia, G. Abbritti, *Inquinanti chimici dell'aria interna ed effetti sulla salute*, in *Giornale Italiano Medicina del Lavoro*, 26, 4, 2004, pp. 364-369.

[45] E.P. Adcock, *IFLA Principles for the Care and Handling of Library Material*, International Federation of Library Association and Institutions – Core Programme on Preservation and Conservation, Council on Library and Information Resources, Bari, 2004, pp. 1-72, da: http://webdoc.gwdg.de/ebook/aw/1999/ifla/pchlm.pdf (consultato il 19/06/2022).

[46] A.-L. Dupont, J. Tétreault, *Cellulose degradation in an acetic acid environment*, in *Studies in Conservation*, 45, 3, 2000, pp. 201-210, DOI: 10.1179/sic.2000.45.3.201; A. Lattuati-Derieux, S. Bonnassies-Termes, B. Lavédrine, *Identification of volatile organic compounds emitted by a naturally aged book using solid-phasemicroextraction/gas chromatography/mass spectrometry*, in *Journal Chromatography A*, 1026, 1-2, 2004, pp. 9-18, DOI: 10.1016/j.chroma.2003.11.069; A. Lattuati-Derieux, S. Bonnassies-Termes, B. Lavédrine, *Characterisation of compounds emitted during natural and artificial ageing of a book. Use of headspace-solid-phase micro extraction/gas chromatography/mass spectrometry*, in *Journal Culturale Heritage*, 7, 2, 2006, pp. 123-133, DOI: 10.1016/j.culher.2006.02.004; A.-L. Dupont, C. Egasse, A. Morin, F. Vasseu, *Comprehensive characterisation of cellulose-and lignocellulose-degradation products in aged papers: capillary zone electrophoresis of low-molar mass organic acids, carbohydrates, and aromatic ligninderivatives,* in *Journal Carbohydrate Polymers*, 68, 1, 2007, pp. 1-16, DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.07.005; O. Ramalho, A.-L. Dupont, C. Egasse, A. Lattuati-Derieux, *Emission Rates of Volatile Organic Compounds from Paper*, in *e-Preservation Science*, 6, 2009, pp. 53-59; M. Strlič, I. Kralj Cigić, A. Možir, G. de Bruin, J. Kolar, M. Cassar, *The effect of volatile organic compounds and hypoxia on paper degradation,* in *Polymer Degradation and Stability Journal*, 96, 4, 2011, pp. 608-615, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.017; L.T. Gibson, A. Ewlad-Ahmed, B. Knight, V. Horie, G. Mitchell, C.J. Robertson, *Measurement of volatile organic compounds emitted in libraries and archives: an inferential indicator of paper decay?*, in *Chemistry Central Journal*, 6, 1, 42, pp. 1-22, 2012, DOI: 10.1186/1752-153X-6-42; J. Tétreault, A.-L. Dupont, P. Bégin, S. Paris, *The impact of volatile compounds released by paper on cellulose degradation in ambient hygrothermal conditions*, in *Polymer Degradation and Stability*, 9, 98, 2013, pp. 1827-1837.

[47] S. Fuselli, A. Pilozzi, A. Santarsiero, G. Settimo, S. Brini, A. Lepore, G. de Gennaro, A. Demarinis Loiotile, A. Marzocca, A. de Martino, R. Mabilia, *Strategie di Monitoraggio dei Composti Organici Volatili (COV) in Ambiente Indoor*, Roma, Istituto Superiore di Sanità (Rapporti ISTISAN 13/4), 2013.

[48] G. Muzi *et al.* 2004, *op. cit.*

[49] J. Tétrault 2003, *op. cit.*

[50] UNI EN ISO 16000-2:2006, *Aria in ambienti confinati – Parte 2: Strategia di campionamento per la formaldeide*, Milano, Ente nazionale italiano di unificazione, 2006.

[51] G. Abbritti, G. Muzi, M.P. Accattoli, T. Fiordi, M. Dell'Omo, C. Colangeli, A.R. Gabrielli, T. Fabbri, A. D'Alessandro, *High prevalence of Sick Building Syn-*

drome in a new air conditioned building in Italy, in *Archives of Environmental Health*, 47, 1, 1992, pp. 16–22, DOI: 10.1080/00039896.1992.9935939, PMID: 1539998; G. Muzi *et al.* 2004, *op. cit.*

[52] UNI EN ISO 16000-5:2007, *Aria in ambienti confinati – Parte 5: Strategia di campionamento per i composti organici volatili – VOCs*, Milano, Ente nazionale italiano di unificazione, 2007.

[53] C. Hachem, P. Fazio, J. Rao, K. Bartlett, Y.P. Chaubey, *Investigation of microbial volatile organic compounds and their Transport through the building envelope*, in *Building and Environment*, 44, 8, 2008, pp. 1691–1698, DOI: 10.1177/1420326X09342680.

[54] A.L. Sunesson, W.H.J. Vaes, C.A. Nilsson, G. Blomquist, B. Andersson, R. Carlson, *Identification of volatile metabolites from 5 fungal species cultivated on 2 media*, in *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 8, 1995, pp. 2911–2918; A.L. Sunesson, C.A. Nilsson, R. Carlson, G. Blomquist, B. Andersson, *Production of volatile metabolites from Streptomyces albidoflavus cultivated on gypsum board and tryptone glucose extract agar – influence of temperature, oxygen and carbon dioxide levels*, in *The Annals of Occupational Hygiene*, 41, 4, 1997, pp. 393–413, DOI: 10.1016/S0003-4878(96)00046-4.

[55] I. Annesi-Maesano, S. Rouve, H. Desqueyroux, R. Jankovski, J.-M. Klossek, M. Thibaudon, P. Demoly, A. Didier, *Grass pollen counts, air pollution levels and allergic rhinitis severity*, in *International Archives Allergy and Immunology*, 158, 4, 2012, pp. 397–404, DOI:10.1159/000332964, PMID: 22487690.

[56] H. Schleibinger, D. Laussmann, C. Bornehag, D. Eis, H. Rueden, *Microbial volatile organic compounds in the air of moldy and mold-free indoor environments*, in *Indoor Air*, 18, 2, 2008, pp. 113–124, DOI: 10.1111/j.1600-0668.2007.00513.x, PMID: 18333991.

[57] R. Wålinder, L. Ernstgård, G. Johanson, D. Norbäck, P. Venge, G. Wieslander, *Acute effects of a fungal volatile compound*, in *Environmental Health Perspectives*, 113, 12, 2005, pp. 1725–1778, DOI: 10.1289/ehp.8193, PMID: 16330362; A. Korpi, J. Järnberg, A.L. Pasanen, *Microbial volatile organic compounds*, in *Critical Reviews in Toxicology*, 39, 2, 2009, pp. 139–193, DOI: 10.1080/10408440802291497, PMID: 19204852.

[58] ENEA Dipartimento Ambiente, *Appunti sugli Agenti Nocivi: Ozono*, C.C. Lombardi, M. Balduzzi, F. Mauro (eds.), 7. Serie Noxiae, Ottobre 1994; Accordo Ministero della salute, Regioni e Province autonome, *Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*, Gazzetta Ufficiale Supplemento Ordinario n. 276, del 27/11/2001; A. Lorenzo, P. Apostoli, E. Albini, S. Catalani, *Manuale di Medicina del Lavoro e Igiene Industriale: per Tecnici della Prevenzione*, Padova, Piccini, 2010.

[59] G. Muzi *et al.* 2004, *op. cit.*

[60] WHO – World Health Organization, *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005*, *Summary of risk assessment*, World Health Organization, 2006.

[61] A. Bernardi, F. Becherini, *Controllo microclimatico: gestione dell'ambiente e conseguenze*, in *Scelte e Strategie per la Conservazione della Memoria, Passati al futuro*, Atti della Conferenza Internazionale, Dobbiaco (BZ), 25–29 giugno 2002, Centro di fotoriproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato, Archivio di Stato di Bolzano/Staatsarchiv Bozen (eds.), Soveria Mannelli (CZ), Rubbettino Industrie Grafiche ed Editoriali, 2005, pp. 143–149.

[62] Istituto Superiore di Sanità, *Effetti sulla Salute dell'Inquinamento Atmosferico nelle Aree Urbane,* Risultati di un progetto congiunto, Istituto Superiore di Sanità – Ministero dell'Ambiente, R. Crebelli, A. Carere (eds.), Rapporti ISTISAN 03/11, Roma, 2003; P. Crosignani, A. Tittarelli, A. Borgini, M. Bertoldi, *Effetti a Breve e a Lungo Termine dell'Inquinamento Atmosferico sulla Salute Umana*, Milano, Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura dei Tumori, Unità di Epidemiologia Ambientale e Registro Tumori, 2007, pp. 1–27, da: http://www.capolmone.org/team_medici/Paolo_Crosignani/inquinamento_2006.pdf (consultato il 19/06/2022).

[63] B. Knight, *Passive monitoring for museum showcase pollutants*, in *Preventive Conservation, Practice, Theory and Research*, Preprints of IIC Congress Practice, Theory and Research, Ottawa 12–16

September 1994, London, IIC-The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1994, pp. 174–176.

[64] ARPAV – Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, *Metodi di Misura Inquinanti Atmosferici*, 2012, da: https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-della-aria/approfondimenti/metodi-di-misura-inquinanti-atmosferici (consultato il 19/06/2022).

[65] S. Baer, P.N. Banks, *Indoor pollution: effects on cultural and historic materials*, in *International Journal of Museum Management and Curatorship*, 4, 1985, pp. 9–20, DOI: 10.1016/0260-4779(85)90049-4.

[66] M*i*BAC 2001, *op. cit.*; P. Brimblecombe, *The composition of museum atmospheres*, in *Atmospheric Environment*, 248, 1, 1990, pp. 1–8, DOI: 10.1016/0957-1272(90)90003-D; P. Brimblecombe, *The balance of environmental factors attacking artifacts*, in *Durability and Change: The Science, Responsibility and Cost of Sustaining Cultural Heritage*, W.E. Krumbein, P. Brimblecombe, D.E. Cosgrove, S. Staniforth (eds.), London, John Wiley & Sons Ltd, 1994, pp. 67–80; P. Brimblecombe, *Threshold and damage*, in *Indoor Air Pollution: Detection and Mitigation of Carbonyls*, L. Gibson (ed.), Amsterdam, The Netherlands Institute for Cultural Heritage, 1998, pp. 9–10.

[67] G. Thomson, *The Museum Environment*, 2nd Edition, London, Butterworth-Heinemann, 1986; M*i*BAC 2001, *op. cit*.

[68] V. Cocheo, C. Boaretto, P. Sacco, *High uptake rate radial diffusive sampler suitable for both solvent and thermal desorption*, in *American Industrial Hygiene Association Journal*, 57, 10, 1996, pp. 897–904, DOI: 10.1080/15428119691014404; A. Baldan, P.P. Ballesta, J. Cancelinha, E. de Saeger, *Validation of the Radiello diffusive sampler*, Italy: European Commission. Joint Research Centre, Environmental Institute, 2000; Istituto per i beni artistici culturali e naturali della Regione Emilia-Romagna, *Oggetti nel tempo. Principi e Tecniche di Conservazione Preventiva*, ER Musei e Territorio. Materiali e Ricerche, 7, Bologna, Clueb, 2007.

[69] URG, *Annular Denuder System*, 2015, da: http://www.urgcorp.com/systems/manual-sampling-systems/annular-denuder-system (consultato il 19/06/2022).

[70] C.M. Grzywacz, *Monitoring for gaseous pollutants in Museum Environments*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, Getty Publications, 2006, pp. 1–190, da: https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/monitoring.pdf (consultato il 16/06/2022).

[71] *Ibid.*

[72] ISA-S71.04-1985, *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants*, Instrument Society of America, Research Triangle, Park, North Carolina, 1985; ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, *Particulate and Gaseous Contamination Guidelines for Data Centers,* Atlanta, 2009; C. Muller, D. Ruede, G. Crosley, *ISA Standard 71.04: Changes Required for Protection of Today's Process Control Equipment*, in *57th Analysis Division Symposium*, Anaheim, California, USA, 22–26 April 2012, pp. 157–171.

[73] V. Franzitta, P. Ferrante, M. La Gennusa, G. Rizzo, G. Scaccianoce, *Off-line methods for determining air quality in museums*, in *Conservation Science in Cultural Heritage*, 10, 2010, pp. 159–184.

[74] E. Sacchi, *Il monitoraggio reattivo della qualità dell'aria negli ambienti museali*, parte prima, in *La Termotecnica*, Ottobre e Novembre 1998, 89–96.

[75] V. Franzitta *et al.* 2010, *op. cit.*

[76] ANSI/Isa-71.04-2013, *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants*, American National Standard, 2013.

[77] Lavédrine 2003, *op cit*.

[78] M. Realini, *La Scienza delle Vetrine. Analisi dei Rischi della Conservazione*, Roma, CNR Edizioni, 2016.

7 Bioaerosol e rischi correlati. Il contenimento degli inquinanti

Marianna Adamo, Maria Carla Sclocchi, Donatella Matè

Il bioaerosol costituisce un potenziale elemento di deterioramento per i vari beni, compresi quelli fotografici, in quanto alcune particelle, a determinate condizioni, si possono comportare da biodeteriogeni (vedi Capitolo 9) e rappresentare, inoltre, un rischio per la salute degli addetti al settore[1]. In questa sezione saranno discusse anche le varie tipologie di campionamento delle particelle presenti nell'aria e sulle superfici e i metodi di identificazione dei microrganismi. Infine, il capitolo introduce come è possibile limitare la presenza degli inquinanti nei locali di conservazione.

7.1 Aerosol biologico e problematiche connesse

Per aerosol s'intende un sistema bifasico inalabile e rappresentabile da una fase gassosa continua (ossigeno, azoto ecc.) e da una fase discontinua di singole particelle il cui diametro è inferiore al micrometro. L'aerosol biologico è la dispersione nell'atmosfera di particelle liquide o solide di origine biologica vitali e non. In tale senso l'intera atmosfera (termosfera fino a 400 km di quota, mesosfera 60–90 km, stratosfera 14–60 km, troposfera 0–14 Km) che avvolge il globo terrestre può essere definita come un immenso aerosol biologico.

Tra le particelle costituenti l'aerosol è possibile trovare: funghi, lieviti, batteri, protozoi, virus, alghe unicellulari e frammenti di alghe pluricellulari, spore di felci e muschi, cellule a funzione riproduttiva (come granuli pollinici, spore di funghi e batteri, semi ecc.), sostanze prodotte da piante o animali, frammenti di organismi, peli, artropodi (quali insetti e acari, loro frammenti e loro escrementi), metaboliti e prodotti microbici come endotossine (lipopolisaccaridi), micotossine, proteine, enzimi, antigeni e allergeni ecc. Questi contaminanti, di facile diffusione, all'interno degli ambienti, possono avere azione allergizzante sia in sinergia con altri fattori ambientali come:

- i parametri stagionali e meteorologici;
- l'ubicazione dell'edificio;
- le condizioni strutturali e il microclima interno;
- la presenza di materiale polveroso e/o potenzialmente infetto;
- la presenza di operatori/utenti e le attività svolte nell'ambiente.

Le particelle biologiche *indoor* hanno variabilità dimensionale e derivano anche da operazioni di igiene ambientale, utilizzo di impianti di condizionamento e tendono ad accumularsi e risospendersi in atmosfera. La deposizione di queste particelle, come prima specificato, può avvenire per:

- effetto gravitazionale;
- diffusione molecolare;
- impatto o per processi di precipitazione.

Tra tutte le variabili, quelle termoigrometriche non controllate efficacemente e una inadeguata manutenzione favoriscono l'insediamento e la proliferazione dei microrganismi all'interno dei sistemi di distribuzione dell'aria;

negli ambienti di conservazione, invece, sia la movimentazione dei materiali polverosi che lo stesso personale di servizio possono fungere da vettori di inquinanti/contaminanti[3].

Le problematiche correlate alla presenza degli agenti biologici negli ambienti di lavoro e alle attività ad essi collegate sono oggetto della vigente normativa in materia di igiene e sicurezza (D.Lgs 81/2008) che prevede la valutazione e la prevenzione dei rischi da agenti biologici. Pertanto il riscontro di elementi patogeni nel contesto di monitoraggi microbiologici ambientali comporta la messa in atto di interventi finalizzati a ripristinare le condizioni igienico-ambientali a tutela della salute degli occupanti.

L'Allegato IV, "Requisiti dei luoghi di lavoro" del decreto, in merito agli aspetti microclimatici (1.9 Microclima), fornisce indicazioni riguardanti l'igiene e la manutenzione degli impianti evidenziando:

> Punto 1.9.1.4.
> «Gli stessi impianti devono essere periodicamente sottoposti a controllo, manutenzione, pulizia e sanificazione per la tutela della salute dei lavoratori»
>
> Punto 1.9.1.5.
> «Qualsiasi sedimento o sporcizia che potrebbe comportare un pericolo immediato per la salute dei lavoratori dovuto all'inquinamento dell'aria respirata deve essere eliminato rapidamente».

Nell'Allegato XLVI "Elenco degli agenti biologici classificati" viene indicato un elenco di agenti biologici, suddivisi in batteri e organismi simili, virus, funghi e parassiti (di cui è noto che possono provocare malattie infettive in soggetti umani), per ciascuno dei quali è riportato il gruppo di pericolosità (gruppi 1, 2, 3, 4).

Nel documento Accordo Stato Regioni del 5 ottobre 2006, elaborato dalla commissione tecnico-scientifica "indoor" del Ministero della salute e successivamente aggiornato e modificato da un apposito gruppo di lavoro interministeriale[4], dal titolo "Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione", sono definite le operazioni di manutenzione predittiva (allo scopo di individuare il tempo residuo prima del guasto) sugli impianti e le ispezioni da attuare ai fini del miglioramento dell'IAQ, sottolineando la necessità di effettuare regolari controlli igienici da parte di personale specializzato. Ciò nasce dal fatto che l'attenzione del mondo scientifico si è rivolta negli ultimi anni ai problemi connessi alla qualità dell'aria interna maturando una sempre maggiore sensibilità delle varie istituzioni per i problemi di salute e di *comfort* caratteristici di questi ambienti.

A differenza però degli inquinanti chimici, per gli agenti biologici non è stato ancora possibile definire i limiti di esposizione per l'assenza sia di procedure standardizzate sia di relazione dose-effetto; pertanto nell'impossibilità di valutare correttamente il rischio biologico è opportuno adottare le adeguate misure di prevenzione. Da notare in proposito che i vari contaminanti presenti nell'aria, sui beni o al loro interno, sono in grado di arrivare all'uomo per inalazione, contatto e ingestione.

L'attenzione alla tematica del "rischio biologico" per il settore dei beni culturali viene altresì ribadita nel già citato "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" del 2001 (Ambito VI, Sottoambito I) rivolto ai musei ma che costituisce ad oggi un punto di riferimento importante anche per archivi e biblioteche.

7.2 L'impatto sulla salute

Le particelle biologiche aerodisperse negli ambienti di conservazione rappresentano dunque un problema sanitario e l'azione patogena esplicata sull'uomo può essere di tipo allergizzante (allergeni derivanti da microfunghi, batteri, acari, insetti)[5] , di tipo tossico (metaboliti quali endotossine costituenti della parete cellulare dei batteri Gram-negativi, micotossine sintetizzate da alcune specie di microfunghi in determinate condizioni ambientali o di substrato e 1,3 β-D-glucano, polimero del glucosio, presente sulla parete cellulare microbica)[6] e di tipo infettivo (microfunghi, batteri, Attinomiceti e raramente virus).

Gli allergeni agiscono sull'uomo attraverso modalità e meccanismi fisiopatologici diversi e l'avvenuta esposizione può manifestarsi con sintomatologie a livello cutaneo (arrossamenti, prurito, dermatite, eczema, gonfiore), oculare (lacrimazione, arrossamento) e respiratorio (tosse, asma, rinite). L'intensità, la durata, la gravità di tali sintomi sono dovuti principalmente a: durata e frequenza dell'esposizione, stato immunitario del soggetto, condizioni ambientali (climatiche e microclimatiche) e ulteriori fattori che si verificano al momento dell'esposizione[7].

Gli effetti sulla salute umana sono quindi molto vari e spesso difficili da diagnosticare in quanto i quadri sintomatologici possono sovrapporsi e comparire a breve, medio e lungo termine. Per tale motivo è opportuno intraprendere azioni che tendano ad analizzare il rischio, valutarlo e gestirlo con opportuni interventi. L'esposizione agli allergeni può avvenire non solo per contatto diretto con microrganismi e/o organismi o con le loro escrezioni/deiezioni, ma anche in maniera indiretta come nel caso degli allergeni presenti nelle polveri depositate. A proposito del particolato di origine animale, si deve considerare che l'assenza degli organismi portatori di allergeni negli ambienti lavorativi non esclude la presenza di residui e di sostanze contenute nella saliva e nell'urina che hanno la possibilità di essere trasportati anche da operatori e/o utenti.

Da tempo è conosciuta la maggiore incidenza di allergie da pollini tra chi vive in aree urbane, per l'elevato inquinamento causato dal traffico veicolare rispetto a chi abita in zone rurali. I pollini "anemofili", diffusi nell'aria che si respira e veicolati dal vento, rappresentano infatti gli allergeni inalanti più frequentemente responsabili di malattie allergiche a carico dell'apparato respiratorio. I pollini sono in grado di trasportare tra l'altro sulla loro superficie sostanze interagenti con i granuli stessi determinando un rilascio di molecole con allergenicità modificata. Inoltre alcuni inquinanti quali ozono, particolato a basso peso molecolare, anidride solforosa ecc., come già indicato, possono svolgere un ruolo infiammatorio nelle vie aeree di soggetti predisposti facilitando la penetrazione degli allergeni pollinici nelle mucose e il contatto con le cellule del sistema immunitario. L'inquinamento contribuisce, quindi, a determinare le sensibilizzazioni allergiche delle vie aeree in soggetti predisposti e il peggioramento dei sintomi nei soggetti già allergici[8]. Pochissimi sono i dati sulla correlazione tra livelli aerei degli allergeni e sensibilizzazione o sintomatologia acuta mentre una certa relazione è stata provata tra concentrazione degli allergeni nella polvere e sensibilizzazione[9].

I microfunghi possono dar luogo a specifiche patologie allergiche generalmente associate a reazioni di ipersensibilità (riniti allergiche, asma bronchiale, dermatiti ecc.) e tra i più allergizzanti figurano i generi: *Aspergillus, Alternaria, Aureobasidium, Penicillium*[10]. Sebbene la presenza di *Aspergillus*

fumigatus desti particolare attenzione in quanto responsabile di diverse patologie tra cui l'aspergillosi polmonare, il suo allergene maggiore, Asp f 1 (rAsp f 1 – ribotoxin), raramente si riscontra in ambienti *indoor* (nel D.Lgs 81/2008 solo *A. fumigatus* viene citato). Più diffuso risulta essere *Alternaria alternata*, fungo comune e cosmopolita tra i generi più allergizzanti in tutte le parti del mondo[11], responsabile di gravi forme di asma bronchiale[12].

Per suscitare una reazione allergica la componente fungina non deve essere costituita da cellule vitali al contrario delle infezioni. Infatti le molecole costituenti il micelio fungino persistono anche dopo trattamenti energici, come la sterilizzazione con ossido di etilene, e costituiscono una fonte allergizzante. Per questo motivo si ritengono tali trattamenti oltre che dannosi anche inutili a fronte di più idonei interventi di asportazione delle polveri dai manufatti e dalle superfici.

Una meno nota ma significativa fonte di allergeni, soprattutto negli edifici con livello igienico non adeguato, è rappresentata dagli Arthropoda con le classi Insecta e Arachnida. Tra gli Arthropoda, gli Acarina (Classe Arachnida), unitamente alle loro spoglie ed escrementi (gli allergeni sono contenuti nelle particelle fecali dotate di una membrana chitinosa) si ritrovano in quantità rilevanti negli ambienti di lavoro che spesso coincidono con quelli conservativi. Possono determinare riniti, asma bronchiale, orticaria, dermatiti e anche congiuntiviti dovute a inalazione degli allergeni aerodispersi e/o contatto con i materiali infestati. I più rappresentativi sono: *Dermatophagoides pteronyssinus* (il più allergizzante tra le specie responsabili di manifestazioni cliniche) e *D. farinae*, chiamati acari maggiori in quanto definiti i più potenti acari allergenici, *Glycyphagus domesticus* e diverse specie di *Pyroglyphidae*, i cosiddetti acari della polvere[13] con almeno 23 gruppi di allergeni. Questi dermatofagoidi, fonte principale ma non unica degli allergeni afferenti agli acari, con la produzione di guanina assieme a parti e spoglie del proprio corpo, determinano le sempre più frequenti allergie da polvere domestica. In ambienti *indoor*, vivono anche *Acarus siro*, *G. domesticus* e *Tyrophagus putrescentiae*, tutti favoriti da condizioni ambientali con alte temperature ed elevata umidità.

Numerosi sono anche gli insetti a cui viene attribuito un ruolo nella produzione di allergeni inalanti ma il più importante è la "blatta" che si riscontra principalmente in edifici non adeguati igienicamente. Le specie di Blattodea (Classe Insecta), più comunemente riscontrate negli ambienti *indoor*, sono: *Blattella germanica* (vedi fig. 8.5), *Periplaneta americana* e *Blatta orientalis*[14], come anche *Polyphaga aegyptiaca*, cui si è aggiunta di recente *Supella longipalpa*. Questi insetti fungono da trasportatori e diffusori di batteri patogeni, microfunghi, virus, elminti e protozoi[15]. Possono indurre allergie e asma dovute a inalazione (gli allergeni, presenti nelle feci, nelle secrezioni e sul corpo, diventano volatili con la movimentazione della polvere). Il fenomeno della sensibilizzazione nei confronti delle blatte in Italia è ancora in fase di valutazione e la maggior parte dei dati proviene da studi svolti in altri paesi europei o negli Stati Uniti. Gli allergeni riscontrabili soprattutto nella saliva, nelle deiezioni e nel corpo stesso (come per l'acaro della polvere) sono aerodispersi in particelle di dimensioni >10 mμ che sedimentano rapidamente al suolo. I blattoidei possono, inoltre, trasportare passivamente (come vettori meccanici), sulla superficie esterna del corpo e all'interno del canale alimentare, un elevato numero di microrganismi (virus, batteri), uova di elminti e protozoi altamente patogeni (amebe, Giardia)[16]. Le blatte sono ritenute responsabili di asma bronchiale. Molti pazienti con asma



Fig. 7.1

Esemplare di psocottero. Di piccolissime dimensioni (1-2 mm), alati o atteri o microatteri, questi insetti, spesso gregari, amano i luoghi umidi

sono esposti e sensibilizzati nei confronti di più allergeni *indoor* ed è difficile definire il contributo di ciascuno di essi nello scatenamento di una sintomatologia acuta.

Anche gli Psocoptera (fig. 7.1) (come *Liposcelis bostrychophila*) possono provocare asma di natura allergica[17] ma soprattutto eruzioni cutanee dovute a morso o contatto di sostanze rilasciate dal loro schiacciamento (sensibilizzazione in seguito a contatto) e prurito[18]. Essendo di piccolissime dimensioni, individui interi e/o loro parti possono altresì risultare componenti della polvere *indoor* e comportarsi da allergeni.

L'importanza sanitaria dei Coleoptera Dermestidae è legata ad esuvie larvali, setole e peli (figg. 7.2–7.5) rilasciati in ambiente che si disperdono nell'aria e sono in grado di determinare per contatto fenomeni irritativi della pelle (dermatiti, orticaria, congiuntiviti) e per inalazione attraverso le vie respiratorie (riniti, dispnea, asma ecc.)[19].

Tra gli insetti con possibilità di indurre allergia viene segnalato anche *Lepisma saccharina*[20] (Ordine Thysanura), noto deteriogeno dei materiali fotografici con supporto cartaceo, presente in generale in tutti gli ambienti interni compresi quelli conservativi. A causa dell'elevato contenuto di tropomiosina Lep s 1 (proteina presente nelle cellule muscolari e non), che risulta essere un panallergene diffuso negli artropodi e nei molluschi, questo insetto è ritenuto responsabile di reazioni allergiche crociate (per via inalatoria) con altri invertebrati, anche se le sue frazioni allergeniche non sono state ancora completamente caratterizzate[21].

Tuttavia, negli ambienti di conservazione possono essere presenti altri insetti, anche se non collegabili direttamente a manifestazioni di tipo allergico, comunque responsabili di patologie a carico della salute umana[22]; essi determinano ponfi, forti pruriti, gonfiori diffusi e febbre dovuti alle punture. Sono un esempio gli Imenotteri appartenenti alla famiglia dei Bethylidae (di piccole dimensioni 1–3 mm) che costituiscono un rischio sanitario in strutture infestate da Coleoptera Anobiidae (i comuni tarli) di cui sono parassitoidi. Infatti le femmine di questi micro imenotteri (grazie al pungiglione, ovopositore trasformato in aculeo) appartenenti al genere *Scleroderma* (fig. 7.6) possono arrecare punture dolorose[23]. Le femmine paralizzano le larve dell'ospite iniettando un secreto velenoso e successivamente le utilizzano come alimento e per deporvi le uova. Alla schiusa di queste, le larve si nutrono dell'animale immobilizzato.

Oltre a *Scleroderma* (la presenza è stata, in Italia, osservata sin dagli anni Trenta) da segnalare è anche la presenza *indoor* di un altro Betilide: *Cephalonomia gallicola* ectoparassitoide di larve di coleotteri (come *Lasioderma sericorne* e *Stegobium paniceum*), le cui femmine attere sono in grado di provocare dolorose punture e dermatiti nell'uomo[24]. Altro imenottero responsabile di dermatiti accompagnate da prurito è *Allepyris ruficrus* parassita larvale di





Fig. 7.2

Residui larvali di *Anthrenus* sp. su trappola collata (in alto a sn)

Fig. 7.3

Residui larvali di *Anthrenus* sp. su trappola collata (in alto a dx)



Fig. 7.4

Residui larvali di *Anthrenus* sp. su trappola collata (a lato)



Fig. 7.5

Residui larvali di *Attagenus* sp. su trappola collata (in basso)

Anobium e *Stegobium* (fig. 7.7) (Coleoptera Anobiidae) e di *Anthrenus* (fig. 7.8) e *Attagenus* (Coleoptera Dermestidae)[25].

Le diverse specie di organismi infestanti indesiderati (insetti, artropodi ecc.), come è noto, rappresentano un serio problema per i materiali conservati. I danni che questi organismi (erosioni, asportazioni, macchie, imbrattamenti imputabili a deiezioni o a rigurgiti) possono indurre, come del resto quelli determinati dai microrganismi (macchie, alterazioni cromatiche, decoesionamenti, infragilimenti ecc.), sono in grado di compromettere in maniera irrimediabile molte tipologie di beni (vedi Capitoli 8 e 9).

Per quanto riguarda l'effetto tossico, si fa riferimento alle endotossine, lipopolisaccaridi (LPS) costituenti principali dello strato esterno della parete cellulare dei batteri Gram-negativi, che vengono rilasciate in forma solubile in piccole quantità durante lo sviluppo vegetativo e in grande quantità soltanto alla lisi della cellula batterica. I livelli di endotossine, che si possono riscontrare nell'*indoor*, sono quindi in funzione dell'incidenza dei batteri Gram-negativi il cui sviluppo è influenzato oltre che dalle condizioni termoigrometriche ambientali anche dalla disponibilità del substrato di adesione





Fig. 7.6

Esemplare di *Sclerodermus* sp. su trappola collata. Le femmine e a volte anche i maschi sono atteri (in alto a sn)

Fig. 7.7

Esemplare di *Stegobium* sp. su trappola collata (in alto a dx)



Fig. 7.8

Esemplare di *Anthrenus* sp. su trappola collata (in basso)

e/o di eventuali sostanze nutritive. L'azione tossica principale delle endotossine è collegata all'induzione di febbre e alla necrosi tissutale[26].

Altri composti tossici sono le micotossine, un gruppo eterogeneo di sostanze chimiche a basso peso molecolare prodotte dal metabolismo secondario di alcuni miceti la cui presenza e sviluppo sono strettamente correlati ai cambiamenti delle condizioni termoigrometriche ambientali. Tali sostanze, se inalate o ingerite, possono costituire un rischio per la salute poiché capaci di generare effetti cronici, acuti, mutageni e teratogeni[27] (come l'aflatossina, tra i più potenti carcinogeni noti, principalmente prodotta da *Aspergillus flavus*). È difficile prevedere la tossicità di queste sostanze poiché differenti ceppi della stessa specie microbica sono in grado di produrre tossine diverse oppure nessuna[28]. L'aumento delle spore fungine può inoltre comportare un incremento della concentrazione di 1,3 β-D-glucani ritenuti potenziali responsabili di risposte infiammatorie e immunologiche in quanto attivatori cellulari di macrofagi e neutrofili[29].

In questi ultimi tempi, ha destato notevole attenzione il citato microfungo *Stachybotrys cartharum* per la capacità di poter arrecare danni alla salute (stachybotrotossicosi con dermatiti, mal di testa, dolore toracico ecc.) in quanto produttore di tossine. Isolato dalla carta da parati di una casa a Praga nel 1837, è diffuso in ambiente *outdoor* (sulle piante e nel terreno) e *indoor* nelle zone ove si riscontrano macchie di umidità e infiltrazioni. Le spore possono essere aerotrasportate quando il clima è particolarmente secco e/o in presenza di correnti d'aria, per tale motivo gli interventi di depolveratura non condotti correttamente ne facilitano la dispersione in atmosfera. *S. cartharum* esige per la crescita valori di UR >90% e di T=25°C ca., mentre valori superiori di umidità relativa inducono la produzione di quantità significative

di micotossine. Il fungo, come implicito dal nome, prolifera bene su substrati a base di cellulosa[30].

Tra le sostanze tossiche di derivazione microfungina figurano anche l'ergosterolo, nonostante al momento non ne sia stata ancora provata la tossicità, e i VOCs che agiscono come sostanze irritanti[31] (di cui si è precedentemente trattato). Da notare, inoltre, che alcuni microfunghi noti deteriogeni di materiali archivistici e librari, quali *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus* e *A. niger*, sono produttori di micotossine responsabili di reazioni croniche o acute in caso di inalazione. Molte tossine possono essere assorbite attraverso l'epidermide per contatto, da qui l'importanza dell'utilizzo di dispositivi individuali di protezione (DPI) durante le fasi di manipolazione/movimentazione dei beni. In caso di materiale altamente biodeteriorato si rivela necessario il suo trasferimento in locali appositamente allestiti per evitare possibili contaminazioni crociate.

Con riferimento all'azione patogena di tipo infettivo correlata alle bioparticelle, tra i batteri rilevabili nell'aria *indoor*, nella polvere e sulle superfici di ambienti confinati, che potenzialmente possono costituire un rischio biologico, figurano diversi batteri. I microrganismi in questione appartengono al genere *Aeromonas (*raramente rilevabili nell'aria ma segnalati sulle superfici) considerato potenziale responsabile di patologie quali infezioni gastroenteriche o cutanee, e al genere *Legionella* con *Legionella pneumophila* (specie più frequentemente disseminata negli ambienti confinati attraverso gli impianti di condizionamento/climatizzazione e le reti di ricircolo di acqua calda degli impianti idrico-sanitari) che, acquisita per via respiratoria, può dare origine a polmonite. Inoltre si indica *Pseudomonas aeruginosa* (ubiquitario e poco esigente, che si moltiplica facilmente riuscendo a sopravvivere anche in condizioni estreme) responsabile di congiuntiviti, otiti ecc., la cui presenza è segnalata nell'aria e sulle superfici soprattutto in condizioni ambientali che presentano elevate percentuali di umidità. Ancora da segnalare è *Staphylococcus aureus* (si può ritrovare nella polvere) che risulta essere agente eziologico di numerose infezioni della cute e delle mucose e correlabile alla presenza dell'uomo e di animali. Infine gli attinomiceti, bacilli morfologicamente simili ai miceti filamentosi, responsabili di allergie e risposte infiammatorie, che sono indice di scarsa qualità dell'aria (correlabile a presenza di polvere, umidità elevata, ventilazione ridotta).

Tra i microfunghi figurano principalmente specie appartenenti al genere *Aspergillus* ritenute responsabili di infezioni, soprattutto in soggetti con deficit immunitari, che colpiscono vie respiratorie, pelle e orecchio esterno, il genere *Mucor* associato a patologie a carico del sistema circolatorio e il genere *Alternaria* responsabile di infezioni delle vie aeree superiori.

Correlata all'inquinamento biologico è la "Sindrome da edificio malato" o *Sick Building Syndrome*[32] (SBS), ove per sindrome si intende il complesso più o meno caratteristico di sintomi, senza preciso riferimento a cause e meccanismi di comparsa. Il termine "edificio malato" è stato coniato per definire le strutture con problemi di inquinamento interno a partire dagli anni Settanta quando alcuni medici statunitensi notarono l'insorgere di alveoliti allergiche tra gli occupanti di ambienti con aria condizionata. Un edificio è considerato "malato" quando in coloro che vi soggiornano insorgono disturbi e riduzione del *comfort* da mettere in relazione con la qualità dell'aria presente. Definita dall'OMS come "disturbo legato al microclima a cui gli occupanti di un edificio sono esposti", l'attenzione è stata rivolta quindi all'illuminazione, alla ventilazione, all'umidità dell'aria, al rilascio di sostanze tossiche da parte dei

materiali utilizzati per la costruzione nonché alla densità di popolazione negli ambienti lavorativi. Tale sindrome si definisce quindi come una reazione al microclima *indoor* che colpisce la maggior parte degli occupanti e che non può essere collegata ad una causa evidente (quale un'eccessiva esposizione a un singolo agente o un difetto del sistema di ventilazione).

L'aspetto caratteristico della SBS è la multifattorialità, cioè l'interazione di vari fattori che agiscono contemporaneamente su diversi meccanismi di reazione sensoriale. I sintomi comparivano principalmente in coloro che lavoravano in edifici con aria condizionata ma la sintomatologia era stata osservata anche in individui occupanti edifici ventilati naturalmente. La sindrome non è usualmente accompagnata da lesioni organiche o manifestazioni fisiche e viene quindi diagnosticata per esclusione[33]. L'insieme dei sintomi comprende: irritazione degli occhi, secchezza delle vie respiratorie, cefalea, sonnolenza, eritemi, pruriti cutanei non riconducibili ad una malattia e/o causa specifica ma che vengono avvertiti solo durante la permanenza all'interno e svaniscono o si attenuano notevolmente dopo l'allontanamento dall'edificio (si ritiene che fattori individuali siano spesso associati: stress legato al lavoro, insoddisfazione professionale, sesso – prevalenza nelle donne ecc.). Pur non esistendo a tutt'oggi prove certe che colleghino l'insorgenza di questa sindrome alla contaminazione microbica, alcuni campionamenti microbiologici hanno mostrato come in edifici caratterizzati da SBS, il microfungo *Penicillium* spp. rappresenti il 70-100% dei microfunghi riscontrati, a differenza dell'ambiente esterno ove predominano altri generi fungini (quali ad esempio *Cladosporium*)[34].

La "Malattia correlata all'edificio" o *Building Related Illness* (BRI), anch'essa di origine biologica, si riferisce invece a patologie aventi un quadro clinico ben definito e con alla base uno specifico agente eziologico. Ne sono un esempio la legionellosi, legata agli impianti di condizionamento e/o climatizzazione non sottoposti ad accurate manutenzioni, l'alveolite allergica e altre comuni allergie per le quali l'agente causale può essere identificato.

Altra sindrome legata agli ambienti polverosi, responsabile della manifestazione di alcuni sintomi acuti (quale la polmonite acuta da ipersensibilità o l'alveolite allergica estrinseca) e con iniziale sindrome simil-influenzale (nonché riniti, sinusiti, asma ecc.) è la "Sindrome da polveri organiche tossiche" o *Organic Dust Toxic Syndrome* (ODTS); già nel 1994 lo statunitense National Institute for Occupational Safety and Health pubblicò alcuni casi studio sottolineando l'urgenza di analizzare ulteriormente tali sintomatologie[35]. Sembrano giocare un ruolo importante generi fungini quali *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* anche se al momento esistono molte controversie.

Un breve cenno ai virus per i quali risulta limitata la possibilità di prevenire e controllare le infezioni in ambienti confinati in quanto sono ancora poche le informazioni disponibili circa le dinamiche di sopravvivenza e di disseminazione/trasporto in aria *indoor*, nonché il ruolo della ventilazione e di altri fattori ambientali. Certo è che, a prescindere dal tipo di virus, maggiore è la quantità di aria esterna immessa negli ambienti chiusi, più la concentrazione dei virus in aria diminuisce e con essa il rischio di contagio. Anche i virus si possono trovare nei sistemi di climatizzazione; essi sono responsabili di infezioni delle prime vie aeree (otiti, sinusiti, faringiti, tracheiti) e delle basse vie respiratorie (bronchiti, polmoniti).

Nel Capitolo 14 sarà esaminata la situazione pandemica provocata dal virus responsabile di COVID-19 (conosciuta anche come malattia respiratoria acuta da SARS-CoV-2 o malattia da coronavirus 2019) e le implicazioni che ha

determinato nelle realtà archivistiche e librarie, nazionali e internazionali. In tale ambito si farà riferimento, tra l'altro, alle conoscenze sulle modalità di contagio attraverso l'aria degli ambienti confinati e tramite i contatti con le superfici.

Allo scopo di valutare i pericoli e i rischi derivanti dalla presenza di *pests* (organismi: insetti, roditori e microrganismi) e limitarne i danni, sempre più frequentemente in musei, gallerie, archivi e biblioteche si ricorre a protocolli d'intervento, appositamente elaborati e pianificati in base alle diverse esigenze. Tali programmi di gestione integrata, *Integrated Pest Management* – IPM, che coinvolgono diverse figure professionali, prevedono una perfetta conoscenza delle condizioni microclimatiche dell'ambiente di conservazione e della biologia delle varie specie nocive (vedi Capitolo 8).

Per quanto riguarda, invece, la presenza di roditori, anche loro possibili deteriogeni dei materiali costituenti i beni, l'eventuale rischio biologico può essere correlato agli Aphaniptera, insetti ematofagi noti col nome comune di pulci (ad esempio la pulce dei ratti *Xenopsylla cheopis*) che, oltre a recare fastidi alle persone con le loro punture, possono essere portatori di varie malattie come la peste (provocata dal batterio *Yersinia pestis*) o la febbre petecchiale murina (causata da *Rickettsia typhi).* Questi organismi, ospiti intermedi di parassiti, come i cestodi del genere *Hymenolepis*, sono in grado di parassitare l'uomo[36].

Ad eccezione di situazioni che presentano condizioni igieniche estremamente gravi ma, per fortuna rare nelle strutture normalmente adibite ad ambienti di conservazione delle collezioni fotografiche, l'infestazione da roditori non desta ad oggi elementi di particolare preoccupazione.

7.3 Monitoraggio microbiologico

L'IAQ non può prescindere dalla valutazione biologica, ossia dall'individuare quella parte di aerosol responsabile del rischio biologico. Un piano di monitoraggio mirato allo scopo deve prevedere una prima fase dedicata alla ispezione della struttura edilizia, all'accertamento delle modalità di comportamento degli occupanti (addetti al settore/utenti), alla relativa raccolta dati e una seconda fase dedicata al monitoraggio vero e proprio per ricercare e/o quantificare i parametri che consentono di determinare globalmente la qualità dell'aria. Tali rilevamenti permettono anche di evidenziare la presenza di microrganismi indesiderati in grado di arrecare deterioramenti ai materiali (vedi Capitolo 8 dove vengono trattate le varie tipologie di danno che i microrganismi possono determinare ai beni) e alla salute umana.

Una integrazione alle metodiche standard di campionamento dell'aria e delle superfici è rappresentata dal monitoraggio entomologico mediante l'uso di trappole per l'eventuale cattura degli artropodi presenti e il reperimento di parti o loro resti che possono costituire un problema sanitario per addetti e/o utenti.

Ai fini di una corretta valutazione delle caratteristiche microbiologiche dell'aria in ambienti confinati è necessario fare riferimento a:

- presenza e attività di persone, di macrorganismi (artropodi, roditori) e di microrganismi (batteri, funghi);
- capacità di sopravvivenza dei macrorganismi/microrganismi in rapporto alle condizioni termoigrometriche, di illuminazione e trofiche;
- circolazione dell'aria in rapporto allo stato di efficienza e manuten-

zione di eventuali impianti di condizionamento/climatizzazione;
- disponibilità di metodologie adatte a prelievo e controllo dell'aerosol biologico anche in considerazione di analisi programmate nel tempo.

Durante l'attività ispettiva può essere utile ricorrere ad una *Check-List*, serie di controlli per la verifica delle varie tappe di un qualsiasi processo operativo (vedi Capitolo 8). Invece in fase di monitoraggio risulta necessario pianificare con quale periodicità e con quali procedure si intende operare facendo riferimento al possibile inquinante, alle sorgenti di contaminazione identificate, alle attività svolte nel locale, alle condizioni ambientali e, non ultimo, al contributo apportato dall'aria *outdoor*. Fondamentale risultano dunque queste azioni:
- individuazione delle/dei aree/punti dove effettuare il campionamento (considerando la presenza di porte, finestre o di qualsiasi altro accesso/apertura, di fonti di luce e/o di eventuali correnti d'aria dovute a ventilazione naturale o forzata ecc.);
- la durata del campionamento (giornaliera, mensile, stagionale);
- numero di campioni da prelevare e tecniche da utilizzare sia per questa fase sia per le successive indagini di tipo quali/quantitativo volte al riconoscimento del macrorganismo o microrganismo dannoso.

Campionamento dell'aria per il controllo dei microrganismi Prevalentemente il monitoraggio biologico viene eseguito su campioni di aria/superfici e si effettua mediante campionamenti passivi o attivi, con tecniche e dispositivi diversi, nelle quattro stagioni o almeno due volte l'anno[37]. L'utilizzo contemporaneo delle due metodiche può consentire di ottenere un maggior numero di informazioni circa il numero e il tipo di microrganismi presenti e la cinetica della loro distribuzione.

Ai fini di un corretto monitoraggio è consigliabile effettuare almeno un prelievo nella zona centrale del locale considerando la presenza di eventuali correnti d'aria provenienti da porte e/o finestre. Per locali di grandi dimensioni è preferibile attuare due prelievi, equidistanti tra loro, in corrispondenza della diagonale o della mediana, oppure tre prelievi nella zona nord, centro, sud. Se nell'ambiente sono presenti sistemi di condizionamento, è utile svolgere campionamenti vicino alle bocchette di mandata e al di sopra dei *fan-coil*[38], come del resto avviene per il monitoraggio degli inquinanti chimici.

Il campionamento di tipo passivo o gravitazionale (mediante forza inerziale e di gravità) indicato anche come *Cultural-Plate Sampling* si esegue raccogliendo le particelle microbiche veicolate dall'aria per sedimentazione su capsule Petri agarizzate con opportuni terreni di crescita. Rispettati i periodi di incubazione è possibile procedere alla conta delle colonie cresciute definendo il numero di Unita Formanti Colonia (UFC). Il grado di contaminazione microbica viene espresso mediante l'Indice Microbico dell'Aria (IMA), numero totale di germi, capaci di formare colonie, che si depositano su capsule Petri con diametro di 10 cm contenenti Agar opportuno (lasciate aperte per 1 h a due altezze: 1 e 2 m da terra ca. e a 1 m di distanza da ogni ostacolo fisico rilevante). Le colonie sviluppatesi vengono misurate come Unità Formanti Colonie per dm^2 per h (UFC/dm^2/h).

Per una raccolta diversificata dei microrganismi dell'aria si utilizzano tre tipologie di terreni colturali in grado di separare le colonie batteriche da quelle fungine e almeno un terreno per microrganismi (funghi) alofili, che

esigono ambienti più asciutti e che non potrebbero germinare in comuni terreni. Il livello di contaminazione dovrebbe essere calcolato come media aritmetica dei valori ottenuti dalle letture delle varie piastre posizionate. Il metodo, che presenta lo svantaggio di fornire risultati solo di tipo qualitativo, non potendo correlare il numero di microrganismi trovati ad un volume noto di aria, potrebbe essere influenzato dalla grandezza e forma delle particelle veicolanti, dalle condizioni climatiche del locale e dagli eventuali moti convettivi connessi nonché da eventuali correnti d'aria. In generale risulta essere più semplice ed economico del campionamento attivo con il quale viene in genere associato.

Il campionamento di tipo attivo o volumetrico (per mezzo di un flusso prodotto da un sistema aspirante, dotato di controllo e definizione della portata e dei volumi di aria), minimizza la disomogenea distribuzione dei microrganismi imputabile alle condizioni ambientali sopra menzionate. L'aria raccolta viene successivamente canalizzata su opportuni terreni nutritivi specifici i quali, dopo idonei periodi di incubazione, consentono l'identificazione e il conteggio delle colonie. Il grado di contaminazione microbica viene espresso quantitativamente come UFC per m^3 (UFC/m^3) di aria campionata aspirata.

In commercio sono disponibili diversi modelli di campionatori attivi basati su vari principi di funzionamento e sul sistema aspirante (esterno o integrato). Attualmente il campionamento attivo è il più diffuso a livello internazionale in quanto più efficiente e performante di quello passivo. Gli strumenti si basano su due criteri per l'intercettazione delle particelle microbiche: impatto tangenziale o impatto ortogonale dell'aria sul terreno agarizzato. Tra i campionatori attivi figurano anche quelli per filtrazione che utilizzano membrane di vario tipo e quelli per gorgogliamento basati sulla raccolta delle particelle in un mezzo liquido.

Campionamento delle superfici della componente microbica Le superfici presenti negli ambienti *indoor*, possibili ricettacoli di risorse trofiche, costituiscono substrati ideali per lo sviluppo e la moltiplicazione della flora microbica che vi si deposita direttamente o veicolata dall'aria. Il metodo a disposizione per la valutazione dello stato igienico delle superfici utilizza due indici: l'Accumulo Microbico (AM) che esprime la quantità di Unità Formanti Colonie per cm^2 di superficie (UFC/cm^2) accumulate in un tempo non definito e l'Adesione Microbica Oraria (AMO) che esprime la quantità di UFC/cm^2 depositatesi in una determinata superficie in 1 h.

L'ambiente *indoor* di archivi, biblioteche e musei, presenta una quantità varia ed elevata di microrganismi con cui si può entrare in contatto. Purtroppo per la maggior parte non sono note le capacità allergeniche e di conseguenza non è stato possibile definire, a livello internazionale, i limiti di esposizione anche in ragione della variabilità della risposta immunitaria individuale. A livello europeo, tuttavia, un gruppo di lavoro coordinato dall'European Collaborative Action (ECA), che affronta gli aspetti dell'ambiente interno (fonti di inquinamento, qualità/quantità di inquinanti interni chimici e biologici, uso di energia, processi di ventilazione ecc.), interagenti con la qualità dell'aria interna, ha proposto dei parametri orientativi per la valutazione dell'aria interna con riferimento specifico alle abitazioni e agli ambienti non industriali[39]. A livello nazionale, per la misura dell'inquinamento in ambienti *indoor* è possibile utilizzare gli indici di contaminazione proposti da Dacarro *et al.* (2000)[40]:

- Indice Globale di Contaminazione Microbica (IGCM), tiene conto delle diverse categorie di microrganismi che possono determinare l'inquinamento microbiologico;

- Indice di Contaminazione da batteri Mesofili (ICM), permette di valutare un potenziale inquinamento generato da batteri di origine umana e animale e fornisce informazioni sull'efficacia dei ricambi d'aria;
- Indice di Amplificazione della contaminazione microbica (IA), permette di analizzare le differenze tra i livelli di contaminazione esterna e interna.

Infine si accenna alla UNI 11527:2014[41] che riguarda la metodologia per il rilevamento quali-quantitativo della microflora vitale coltivabile diffusa nell'aria *indoor* mediante campionamento passivo. Il metodo consiste nell'esposizione all'aria di capsule di Petri contenenti terreno colturale solido per determinare i microrganismi vitali aerodiffusi che possono depositarsi su di una superficie per gravità o movimenti aerodinamici. Per l'elaborazione del resoconto di prova, la norma include un modello di scheda per il rilevamento dei dati dell'ambiente esaminato e uno per l'espressione dei risultati del monitoraggio.

Campionamento dell'aria e delle superfici per il controllo degli allergeni Il monitoraggio degli allergeni *indoor* può essere effettuato sia mediante la raccolta delle polveri sedimentate, sia mediante il campionamento del particolato aerodisperso. Sulla base della metodologia adottata si ottengono indici di esposizione esprimibili, rispettivamente, in termini di µg di allergene per g di polvere (µg/g) o µg di allergene per m^3 di aria (µg/m^3). In letteratura, finora, il metodo più utilizzato è stato quello della raccolta delle polveri su superficie, che può essere effettuata secondo modalità diverse, con grande influenza sui risultati finali[42].

Dovrebbero essere svolte almeno due campagne annuali di prelievi (estiva e autunnale) per studiare l'eventuale variabilità stagionale della concentrazione degli allergeni. La preferenza a tale metodo viene accordata dal fatto che consente di avere informazioni sull'accumulo delle sostanze allergeniche a differenza del campionamento aereo il quale, invece, fornisce indicazioni solo sulla loro dispersione *indoor*.

I residui (escrementi, frammenti, esuvie ecc.) di Blattodea, Lepismatidae, Psocoptera ecc., così come altri allergeni provenienti da ulteriori fonti, sono infatti rinvenibili nella polvere sedimentata; essi sono veicolati da particelle particolarmente adesive (dimensioni variabili tra 5 e 40 µm ca.) che ne consentono il facile trasporto da un luogo all'altro. Per le operazioni di raccolta delle polveri sedimentate sulle superfici possono essere utilizzati aspirapolveri specifici dotati di opportuni filtri (il sacchetto con il filtro deve essere sostituito dopo ogni raccolta)[43].

Lo studio della componente allergenica presente nella polvere è utile per valutare il rischio biologico in un determinato ambiente (l'analisi viene standardizzata per unità di peso e i risultati espressi come µg di allergene/g di polvere) oppure l'esposizione totale agli allergeni (l'analisi viene standardizzata per unità di superficie e tempo ed espressa in termini di µg o ng di allergene/m^2/min)[44]. Qualora si sospetti un alto tasso di inquinamento dovuto a pollini (abitualmente presenti in maniera consistente nell'aria *outdoor*), si può procedere al monitoraggio pollinico *indoor* attuando il campionamento volumetrico (attivo) mediante l'impiego di un catturatore tipo Hirst.

Nella tabella 7.1 sono riassunte, per una migliore visione d'insieme, le varie tipologie di campionamento (nonché le tecniche e i dispositivi in uso) della componente microbica dell'aria e delle superfici[45] e per la ricerca degli allergeni connesse ai problemi sanitari.

Tabella 7.1 – Campionamenti e dispositivi per il monitoraggio della componente microbica.

TIPOLOGIA DI CAMPIONAMENTO	TECNICHE/DISPOSITIVI DI CAMPIONAMENTO
Campionamento della componente microbica dell'aria	
Campionamento passivo Fornisce indicazioni di tipo qualitativo sul *fall-out* microbico misurando il tasso di sedimentazione dei microrganismi su una superficie[46].	Raccolta dei microrganismi per sedimentazione, veicolati da particelle solide o liquide sospese nell'aria, mediante piastre Petri (con opportuni terreni colturali) esposte all'aria per tempi predeterminati. Non permette di correlare il numero di microrganismi raccolti ad un volume noto di aria e sovrastima quelli contenuti nelle particelle dotate di maggiori dimensioni. Risulta influenzato dalla grandezza e dalla forma delle particelle, dalla temperatura dell'ambiente[47].
Campionamento attivo Fornisce una valutazione quantitativa dei microrganismi presenti in un determinato volume d'aria (vedi nota 46).	I dispositivi aspirano volumi predeterminati di aria convogliandoli su terreni di coltura specifici per i microrganismi da rilevare. **Campionatori ad impatto:** – campionatori volumetrici di tipo Hirst (J.M. Hirst aveva ideato il primo dei campionatori volumetrici nel 1952) aspirano un volume noto di aria, attraverso una fessura, diretto poi in lenta rotazione contro la superficie di un substrato agarizzato. Indicati per il monitoraggio di spore fungine (quali Alternaria) e pollini, entrambi altamente allergizzanti[48]; – campionatori a stadi sovrapposti con sistema aspirante esterno, consentono di selezionare le particelle raccolte dell'aerosol in base alle loro dimensioni mediante dischi sovrapposti con fori a diametro decrescente (come il campionatore multistadio di Andersen). Il sistema però ha lo svantaggio di essere ingombrante e poco maneggevole; – campionatori ad impatto tangenziale tipo monostadio di Reuter (Reuter Centrifugal Sampler – RCS). Sfruttano il principio dell'impatto centrifugo e catturano le particelle su strisce agarizzate. Possibile è la sottostima del dato finale se nell'aria vi è una elevata concentrazione di particelle di grosse dimensioni; – campionatori a impatto ortogonale con pompa integrata (tipo Surface Air System – SAS). In questo sistema monostadio l'aria aspirata viene inviata sulla superficie di terreni di coltura selettivi per i microrganismi da rilevare. Dotato di un aspiratore a portata costante e grazie ai tempi ridotti di campionamento, le cellule raccolte subiscono minore disidratazione. In presenza di elevate concentrazioni di bioaerosol si può però incorrere in una sottostima del rischio biologico a causa di fenomeni di aggregazione microbica sulla piastra di coltura. Risulta più maneggevole del campionatore Andersen anche se meno efficiente. **Campionatori per filtrazione:** utilizzano membrane filtranti in policarbonato, in esteri di cellulosa o in altro polimero sintetico quale nitrato di cellulosa, nylon, nonché filtri in gelatina. **Campionatori per gorgogliamento**: si basano sulla raccolta di particelle in un mezzo liquido (*liquid impinger*). Pratici per la raccolta di batteri e virus.
Campionamento della componente microbica delle superfici	
Campionamento passivo	Raccolta con piastre a contatto, membrane di contatto* (in nitrocellulosa, nylon, policarbonato, acetato di cellulosa ecc.) (vedi parte relativa al campionamento attivo), tamponi sterili (*swabs*) in cotone, rayon o nylon (consente un migliore recupero in quanto i microrganismi non penetrano all'interno ma restano sulla superficie esterna)**[49], Swab test (Millipore®***), nastri e strisce adesive****.

Campionamento del particolato/polveri sedimentate per la ricerca degli allergeni	
Campionamento passivo dell'aria	Raccolta, mediante piastre di sedimentazione, degli allergeni sospesi nell'aria.
Campionamento attivo dell'aria	Raccolta degli allergeni e/o delle spore per aspirazione di un volume noto di aria mediante campionatori.
Campionamento delle polveri sedimentate sulle superfici	Utilizzo di aspirapolveri muniti di speciali filtri in teflon e di filtri HEPA ad alta efficienza. Utilizzati sono altresì i "dust-trap" anch'essi provvisti di filtri[50].

* Le membrane sterili vengono poste sul punto di campionamento della superficie effettuando una pressione; permettono di attrarre e quindi campionare in maniera delicata spore e altre particelle biologiche cariche elettrostaticamente. La membrana viene adagiata e capovolta su piastra (ad esempio RODAC® – Replicate Organism Diret Agar Contact) contenente il terreno colturale.
** Usualmente utilizzati per campionamenti da superfici per isolare microrganismi deteriogeni. I risultati non sono sempre ottimali.
*** Campionatori costituiti da una membrana filtrante, si trovano generalmente in commercio con terreno di coltura liofilizzato; possono essere forniti anche senza terreno di coltura.
**** Consentono un prelievo accurato delle strutture. Trasparenti e a bassa adesività permettono di osservare direttamente il campione al microscopio a luce trasmessa o al microscopio elettronico a scansione (quali FUNGI-TAPE™ e BIO-TAPE™).

7.4 Identificazione dei microrganismi

La fase conclusiva di un programma di monitoraggio biologico deve prevedere l'identificazione tassonomica a livello di specie dei microrganismi/macrorganismi non solo per valutare il loro impatto sulle collezioni ma altresì allo scopo di effettuare interventi mirati atti a debellare gli ospiti indesiderati e a sviluppare corrette strategie integrate di prevenzione anche ai fini della salute umana. Nel campionamento è importante rispettare l'integrità dei reperti ai fini di una corretta identificazione della specie. Nell'ambito dei vari monitoraggi, durante le fasi di prelievo e di preparazione degli eventuali campioni, si devono adottare tutti i dispositivi di protezione individuale – DPI.

Tecniche molecolari L'identificazione dei microrganismi può essere effettuata oltre che con le "tecniche classiche", le quali consentono di ottenere risultati di tipo quali/quantitativo, potendosi applicare solo a cellule vitali e quindi coltivabili, anche tramite metodologie molecolari e biochimiche. Le prime, che permettono una caratterizzazione dei microrganismi a livello tassonomico molto preciso, comprendono:

- estrazione del DNA dal campionatore e amplificazione in vitro di sequenze di acido nucleico con la PCR – Polymerase Chain Reaction e *primer* specifici. Non fornisce informazioni se l'organismo è vivo o meno;
- estrazione dell'RNA che si trova solo in cellule vive.

Nell'ambito della metagenomica, il nuovo *trend* consiste nell'utilizzo di nanopori sintetici su cui viene fatto passare il materiale genetico estratto e nel confronto poi con le banche dati internazionali a cui segue una analisi bioinformatica e una interpretazione dei dati. Tale metodica consente di ottenere uno *screening* di tutto il materiale prelevato con una caratterizzazione del manufatto investigato permettendo una sorta di *pedigree* biologico. La tecnica molecolare più recente è denominata *Nanopore sequencing*, si tratta di un approccio definito di terza generazione ed è utilizzata nel sequenziamento di

biopolimeri, polinucleotidi come DNA e RNA. Tramite questa procedura una singola molecola di queste può essere sequenziata senza ricorrere all'amplificazione tramite PCR, necessaria con le tecniche molecolari finora utilizzate dopo l'estrazione del DNA o RNA dai campioni biologici. Rispetto alle piattaforme di seconda generazione, questa metodica, che utilizza la piattaforma MinION device, offre vantaggi come il sequenziamento di una singola copia di DNA comportando una notevole riduzione di reagenti e semplificazione dei protocolli nonché una miniaturizzazione dell'intero processo[51].

Tecniche biochimiche Tra i metodi biochimici vi sono ad esempio le gallerie Api® bioMerieux e il sistema Biolog® ideato per agevolare l'identificazione di colture pure di microrganismi in ambito clinico. Ad ogni specie o ceppo di microrganismo corrisponde un profilo metabolico e l'equivalenza di quello ottenuto o la somiglianza con i profili registrati, in un database apposito, consente di risalire al genere o anche alla specie del microrganismo isolato.

Come tecnica biochimica vi è poi l'ATP bioluminescenza in grado di individuare la presenza di microrganismi vitali su diversi supporti organici e inorganici. La misura della concentrazione dell'ATP-adenosintrifosfato, molecola presente in tutti gli organismi viventi che rappresenta la principale forma di accumulo di energia immediatamente disponibile, è indice solo della presenza di cellule viventi (alla morte cellulare l'ATP non viene più prodotto e quello rimanente viene degradato da enzimi specifici) nella biomassa microbica rilevabile con risultati esprimibili come pg/cm^2. Si tratta però di un metodo aspecifico.

La concentrazione cellulare di questa molecola, per ciascuna specie, è proporzionale all'attività metabolica e alla sua efficienza cellulare. Viene utilizzato l'enzima luciferasi bioluminescente estratto dalle lucciole. La reazione enzimatica tra ATP e luciferina è così schematizzata:

$$ATP + O_2 + \text{d-Luciferina} \rightarrow \text{Ossiluciferina} + AMP^* + \text{Pirofosfato} + CO_2 + \text{Luce}$$

*adenosin-monofosfato

L'utilizzo delle analisi molecolari e biochimiche oltre a facilitare l'identificazione del contaminante, riduce i tempi di lavoro consentendo di analizzare un numero maggiore di campioni. Un'ulteriore metodica è quella dell'utilizzo di biomarcatori, composti chimici facilmente analizzabili e indici della presenza di strutture biologiche non facilmente determinabili. Tra questi si cita ad esempio l'ergosterolo, lipide presente soprattutto nella membrana plasmatica. Tale lipide controlla permeabilità, fluidità e integrità della membrana nonché alcuni enzimi legati alla stessa. Il metodo di estrazione e analisi dell'ergosterolo, quale indicatore della componente fungina aerodispersa, pur non essendo ancora stato standardizzato, può dare informazioni sull'andamento e sulle variazioni della concentrazione di spore fungine presenti nell'aria, sia *viable* che non *viable*[52], fornendo quindi indicazioni sulla qualità delle comunità microbiche presenti nella polvere; per tale motivo può essere utilizzato come termine per predire un possibile danno ai beni conservati in ambienti non idonei[53].

Tecniche microscopiche Utile per l'identificazione dell'agente biologico è anche l'osservazione microscopica dei campioni, opportunamente preparati, mediante microscopi con illuminazione in campo chiaro, in campo scuro, a contrasto di fase e a contrasto d'interferenza differenziale – DIC, in cui l'immagine viene creata in base a differenze rilevate nell'indice di rifrazione e nello spessore. La microscopia elettronica (*Scansion Electron Microscopy* – SEM)

consente l'osservazione di particolari (substrato ed eventuale specie microbica) fino a pochi nanometri permettendo quindi una raccolta di informazioni sulla morfologia dei microrganismi biodeteriogeni e del danno correlato. La microanalisi (*Energy Dispersive Spectroscopy* – EDS) accoppiata, fornisce invece informazioni sulla composizione elementale del materiale (grazie ad un rivelatore di elettroni) all'interno di porzioni molto piccole di superfici.

Spesso confrontando i dati derivanti dai monitoraggi biologici, ci si rende conto quanto risulti complesso accertare con precisione l'origine della contaminazione e valutarne gli aspetti quali-quantitativi. Infatti per quanto riguarda i microrganismi l'utilizzo di metodi diversi di campionamento e di analisi per la identificazione, così come la loro disomogenea distribuzione nell'aria, comportano diversità nei risultati che a volte evidenziano concentrazioni differenti del carico microbico anche in caso di prelievi effettuati nello stesso punto. Per il contenimento del rischio biologico risulta fondamentale raccogliere continuamente dati al fine di analizzare con maggiore precisione i rapporti causa/effetto ossia tra quantità e/o tipologia degli allergeni *indoor* e patologie di tipo allergico e non.

Nel 2005 è stato istituito l'Osservatorio europeo dei rischi (ERO nell'ambito dell'Eu-Osha, Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro), che si pone l'obiettivo di individuare i rischi nuovi ed emergenti e di promuovere un'azione preventiva precoce. Esso descrive le tendenze e i fattori di fondo e anticipa i cambiamenti nel mondo del lavoro e le probabili conseguenze in termini di sicurezza e salute.

7.5 Strategie di limitazione degli inquinanti

La deposizione degli inquinanti sulle superfici è correlata in modo differente ai vari fattori ambientali (umidità relativa, temperatura dell'aria e delle superfici, movimenti/velocità dell'aria, tipo di inquinante). Alti valori di umidità relativa possono incrementare ad esempio la velocità di emissione dei VOCs dai materiali, anche se dipendentemente dal tipo di sostanza e dal tipo di materiale. Lo stesso vale per la temperatura, come quella delle superfici, che influenza l'*habitat* dei microrganismi; anche in questo caso studi condotti sulla qualità dell'aria in ambito sanitario hanno mostrato evidenti rapporti. Non ultimo è l'effetto della ventilazione/aerazione su concentrazione e distribuzione degli inquinanti in aria e sulle superfici: velocità e flussi d'aria causano, infatti, sollevamenti e distacchi di materiali solidi dalle superfici cui aderiscono[54]

Mitigazione della presenza di inquinanti Come si evince quindi il problema dgli inquinanti *indoor* è complesso e di difficile studio ma il miglioramento dell'IAQ, dal punto di vista della salute e della conservazione dei beni, si può ottenere controllando le emissioni esterne/interne degli inquinanti attraverso vari interventi:

- scelta di materiali idonei per l'alloggiamento dei beni (arredi, contenitori e involucri – vedi Capitolo 11);
- rimozione dei materiali di rivestimento/arredo che rilasciano in ambiente inquinanti (vedi Capitolo 3). Le emissioni da superfici e rivestimenti possono continuare per anni, soprattutto in uno spazio "sigillato". Utile l'applicazione di materiali barriera e rivestimenti protettivi;
- rimozione di macchinari quali stampanti laser e fotocopiatrici ecc. responsabili dell'emissione di diverse sostanze nocive;
- depolveratura degli alloggiamenti e igiene dei locali con aspirapolveri

dotati di filtri ad alta efficienza da sostituire periodicamente. Per l'igiene dei locali non si devono utilizzare prodotti che possono esalare vapori nocivi per operatori e materiali (soprattutto ammoniaca, cloro, perossidi);
- captazione/abbattimento degli inquinanti con sistemi ad alta efficienza;
- collocazione delle prese d'aria non in prossimità di sorgenti inquinanti o di fonti di umidità o calore elevati. Le prese d'aria dovrebbero essere dotate di filtri per polveri grossolane e polveri fini, in accordo con la ISO 16890-1:2017[55], come suggerito dalla UNI EN 16893: 2018[56];
- utilizzo di sistemi di adsorbimento degli inquinanti aeriformi (vedi Capitolo 9);
- confronto tra i parametri *outdoor* con quelli *indoor*.

Altro intervento fondamentale è il ricambio dell'aria, accorgimento che negli ambienti *indoor* consente la rimozione dell'umidità (evitando la formazione di ristagni d'aria) e la diminuzione della concentrazione dei composti volatili nocivi, dell'anidride carbonica nonchè della componente biologica. Ventilare in modo naturale, mediante l'apertura controllata di porte e/o finestre, potrebbe non essere sempre sufficiente o risultare perfino dannoso sia se le condizioni esterne non consentono di abbassare i livelli dell'umidità relativa ambientale (esempio giornate piovose, umide o caldo-umide) sia per l'ingresso di ulteriori inquinanti. A questo proposito la norma UNI 10586 del 1997 sconsiglia l'apertura di finestre e porte per effettuare il ricambio d'aria specificando che tale operazione può essere autorizzata solo in casi di emergenza, quali l'avaria dell'impianto di ventilazione/condizionamento.

La soluzione ottimale che generalmente viene suggerita è l'adozione di un sistema di condizionamento. Un impianto di questo tipo detto anche HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) è una unità di trattamento dell'aria, che effettua operazioni di: riscaldamento e raffreddamento, umidificazione e deumidificazione, ventilazione e distribuzione dell'aria, filtrazione, funzioni assicurate dai differenti elementi costituenti la centrale di climatizzazione (ogni centrale è unica in quanto progettata per rispondere a specifiche esigenze). I complessi interventi di trattamento consistono quindi in una miscelazione tra aria di ricircolo e aria esterna (la UNI 10586 indica che devono essere assicurati 5/7 ricircoli ogni ora in ogni punto del locale stesso in base alle sue dimensioni e alla sua geometria e che il ricambio d'aria deve essere compreso tra il 10% e il 20% della massa circolante), filtrazione della miscela d'aria, preliminare riscaldamento dell'aria ottenuta, umidificazione, raffreddamento e deumidificazione, seguiti da *post* riscaldamento dell'aria e dal suo movimento[57]. Grazie a questo sistema meccanico si può mantenere un controllo predeterminato di temperatura, umidità, qualità dell'aria e distribuzione dell'aria.

Tenendo però in considerazione le problematiche connesse all'installazione di un impianto di tal genere (vedi Capitoli 3 e 4), questa soluzione, in effetti, deve essere valutata solo dopo che tutti i vari interventi di tipo passivo, atti all'abbattimento degli inquinanti aerodispersi, non abbiano portato a risultati positivi.

Fra i vari interventi elencati, facenti parte di un sistema di climatizzazione, la filtrazione assume un'importanza rilevante in quanto serve a eliminare le particelle in sospensione e a ritenere il più possibile i gas inquinanti purificando l'aria proveniente dall'esterno e contemporaneamente riciclando una parte dell'aria *indoor*.

La filtrazione dell'aria Un impianto di climatizzazione è dotato di "batterie" di filtri con particolari caratteristiche che assicurano l'abbattimento degli inquinanti (*media* fibrosi, fibre di vetro, sintetiche in poliestere, polipropilene e poliuretano ecc.). Un sistema filtrante ben progettato prevede dunque una combinazione di filtri per consentire la quasi totale purificazione dell'aria; inoltre si deve considerare anche che una serie di filtri protegge gli impianti e allunga la vita dei filtri successivi.

Un filtro primario di media efficacia, in grado di funzionare con velocità di flussi d'aria relativamente elevati, è progettato per intrappolare la maggior parte delle particelle di polvere aerodisperse (ø 5–10 µm), cioè le particelle più grandi. A questo può seguire un filtro successivo per intrappolare e trattenere le particelle più fini (ø 0,5–5 µm) che fuoriescono dal filtro precedente e, nello stadio finale, un filtro assoluto HEPA/ULPA il quale impiega fogli di microfibra assemblati in più strati con diametro sub-micrometrico. Un filtro HEPA utilizzato in combinazione con un pre-filtro (anche attivato dal carbone) serve a prolungare la durata di utilizzo.

Le prestazioni dei filtri devono essere regolarmente sorvegliate e i filtri manutenuti secondo le relative istruzioni.

In Europa, fino al 2018, per i filtri d'aria utili alla ventilazione generale, di riferimento è stata la norma EN 779:2012[58], che si rapportava alla prima versione degli standard americani ASHRAE 52-68 e 52-76. La Commissione dell'Organo tecnico UNI "CTI – Materiali, componenti e sistemi per la depurazione e la filtrazione di aria, gas e fumi" ha creato un nuovo standard internazionale per la classificazione e valutazione dell'efficacia dei filtri. La normativa oggi di riferimento è dunque la UNI EN ISO 16890-1:2017 che prende in considerazione il particolato con diametro aerodinamico compreso fra 0,3–10 µm (micrometro: µm = 1×10^{-6}; nanometro nm =10^{-9} m).

Nella tabella 7.2 viene riportata la classificazione dei sistemi filtranti per la ventilazione generale (secondo la norma sopra citata), in relazione alla loro capacità di eliminare le particelle in termini di efficienza minima. L'efficienza, come intuibile, è correlata alla capacità del filtro di trattenere il particolato aerodisperso.

Tabella 7.2 – Classificazione dei filtri per la ventilazione generale secondo la UNI EN ISO 16890-1:2017.

GRUPPO DI APPARTENENZA	REQUISITO MINIMO	EFFICIENZA*	DIMENSIONE DEL PARTICOLATO**
ISO Coarse* **	$PM_{1\ min}$ – | $ePM_{2,5\ min}$ – | ePM_{10} <50%	–****	–
ISO ePM_{10}	$ePM_{1\ min}$ – | $ePM_{2,5\ min}$ – | ePM_{10} ≥50%	ePM_{10}	0,3 µm < x < 10 µm
ISO $ePM_{2,5}$	$ePM_{1\ min}$ – | $ePM_{2,5\ min}$ >50% | ePM_{10} –	$ePM_{2,5}$	0,3 µm < x < 2,5 µm
ISO ePM_{1}	$ePM_{1\ min}$ >50% | $ePM_{2,5\ min}$ – | ePM_{10} –	ePM_{1}	0,3 µm < x < 1 µm

* Il prefisso "e" sta per efficienza. L'efficienza percentuale di un filtro testato con un particolato di classe PM_x è detta ePM_x, si esprime in % e indica la capacità di un filtro di rimuovere da un flusso una frazione in massa di particelle appartenenti a un dato intervallo dimensionale. Per esempio un elemento filtrante in grado di rimuovere il 75% in massa di particolato PM_{10} avrà efficienza ePM_{10} = 75%.
** Intervalli dimensionali del particolato di riferimento per ogni gruppo di appartenenza dei filtri.
*** Si intende: grossolano. Questi filtri catturano meno del 50% delle particelle nell'intervallo PM_{10}.
**** Il valore di efficienza di ePM per i filtri del gruppo ISO *Coarse* può essere omesso.

La norma, destinata ad essere utilizzata congiuntamente con le ISO 16890-2, ISO 16890-3 e ISO 16890-4, ha modificato la precedente classificazione che vedeva i filtri suddivisi in: grossolani (G), medi (M) e fini (F). Un filtro quindi per essere classificato PM_1, $PM_{2,5}$ o una qualsiasi delle altre classi sopra citate, deve dimostrare un'efficienza minima del 50% rispetto alla classe interessata. Con questa norma un filtro può avere fino a 4 classi di efficienza se raggiunge almeno il 50% di efficienza nella categoria $PM_{(n)}$.

L'evoluzione della normativa è avvenuta a seguito di studi congiunti della comunità scientifica che ha riscontrato il sempre maggiore pericolo per la salute dovuto alle particelle inferiori a 1 µm (vedi § 6.2). La suddetta norma risulta più severa nella classificazione e molto vicina alla reale applicazione dei filtri.

In merito ai filtri per l'aria ad alta e altissima efficienza e a bassissima penetrazione, si applica invece la norma UNI EN 1822-1:2019[59]. L'utilizzo di questi filtri consente un controllo rigoroso della purezza dell'aria. La norma permette di classificare i filtri, come specificato in tabella 7.3, in: semi-assoluti EPA (*Efficiency Particulate Air filter*), ad alta efficienza HEPA (*High Efficiency Particulate Air filter*), detti anche assoluti e ULPA (*Ultra Low Penetration Air filter*), assoluti a bassissima penetrazione. All'interno di ciascuna classe, i filtri sono classificati in base alla loro efficienza di filtrazione. La normativa definisce l'efficienza globale in riferimento alla particella che ha il diametro di massima penetrazione (MPPS – *Most Penetrating Particle Size*) per il dato filtro[60].

Tabella 7.3 – Classificazione dei filtri ad alta efficienza in accordo con la UNI EN 1822-1:2019.

CLASSE DEL FILTRO	CLASSE DI FILTRAZIONE	EFFICIENZA* GLOBALE – MPPS E_G (%)	EFFICIENZA (%) PER DIMENSIONE DEL PARTICOLATO	CAPACITÀ DI FILTRAZIONE PER DIMENSIONE DEL PARTICOLATO
Filtri semi-assoluti EPA (E)	E10	≥85	0,3 µm >85	tra 0,3 e 10 µm (batteri, nuclei di condensazione, allergeni, funghi, polvere visibile ecc.)
	E11	≥95	0,3 µm >95	
	E12	≥99,5	0,3 µm >99,5	
Filtri assoluti HEPA (H)	H13	≥99,95	0,3 µm >99,99	tra 0,1 e 1 µm (polveri ultrafini come quelle da industrie metallurgiche, virus, batteri, spore di microfunghi ecc.).
	H14	≥99,995	0,3 µm >99,999	
Filtri assoluti ULPA (U) (per particelle ultra fini)	U15	≥99,9995	0,12 µm >99,9999	tra 0,01 e 0,1 µm (virus, batteri, pollini, particolato carbonioso comunemente noto come fuliggine, polveri in sospensione fino alle molecole gassose).
	U16	≥99,99995	0,12 µm >99,99999	
	U17	≥99,999995	0,12 µm >99,999999	

* Capacità di un filtro di arrestare, e quindi separare, le particelle contenute nel flusso di aria che lo attraversa. Indica il rapporto tra il numero di particelle trattenute dal filtro e il numero delle particelle che vi entrano. Si esprime in percentuale.

La filtrazione meccanica avviene per mezzo di meccanismi di inerzia/collisione, intercettazione e diffusione per le particelle più piccole. Nel primo meccanismo esse impattano sulle fibre del filtro e vengono catturate e inglobate; ciò si verifica se la particella è abbastanza grande (con una inerzia significativa) e se la velocità dell'aria che attraversa il filtro è elevata. Nell'intercettazione il flusso d'aria in prossimità delle fibre del filtro tende a seguirne il contorno trascinando le particelle più fini e leggere che vengono attratte e si fissano per forze di attrazione elettrostatica. L'impatto e l'intercettazione predominano con particelle al di sopra di 0,4 µm. Nel meccanismo di diffusione le particelle di ø <0,1 µm sono soggette a moti oscillatori (di tipo Browniano) delle molecole d'aria; per azione di tali moti le particelle giungono in contatto con le fibre del filtro e vi aderiscono grazie a forze elettriche elementari.

Nuove applicazioni, materiali e meccanismi di separazione vengono continuamente sviluppati, la ricerca è infatti sempre impegnata a trovare soluzioni per ridurre i diametri delle fibre al fine di migliorare l'efficienza del filtro nei confronti delle particelle più piccole, più penetranti, che possono costituire un rischio per la salute[61]. Esistono diversi tipi, come già introdotto, di materiali filtranti tra cui: in microfibra di vetro, in politetrafluoroetilene (PTFE), in nanofibre di nylon, quest'ultime dall'efficienza di filtrazione >99,993% al filtro HEPA[62].

Come si è visto in tabella 7.3, sono i filtri HEPA/ULPA ad avere un potere di arresto quasi totale per gli inquinanti microbiologici che diffondono solo se supportati da un mezzo solido, come ad esempio le polveri o altri inquinanti, o da un mezzo liquido. Questi filtri sono fondamentali nella prevenzione della diffusione di batteri e virus nell'aria. In genere, i sistemi di filtrazione assoluti, per uso medico, incorporano anche unità di luce ultravioletta ad alta energia o pannelli con rivestimento antimicrobico per eliminare batteri e virus intrappolati dai *media* filtranti. A proposito delle dimensioni del particolato biologico si precisa che le spore fungine variano da pochi micrometri, 2–3, come ad esempio in *Penicillium* e *Aspergillus*, a circa 200 in alcuni Zigomiceti (*phylum* che comprende saprofiti e parassiti). Le cellule batteriche raggiungono di solito 1 µm (variano tra 0,3–5 µm). I virus, dalle dimensioni estremamente variabili, generalmente comprese tra 0,02 e 0,3 µm (ad esempio SARS-CoV-2 ha dimensioni leggermente superiori a 0,1 µm e cioè a 100 nm), non verrebbero bloccati dai filtri assoluti se non per effetti elettrostatici.

Disponibili sono anche i filtri elettrostatici (UNI 11254:2007)[63] che funzionano sul principio dell'azione elettrostatica con corrente continua negativa e hanno un'efficienza minore (fino al 99,9%) per polveri o vapori.

La filtrazione elettrostatica, denominata anche filtrazione elettronica o purificazione elettrostatica (ESP), è una tecnologia che usa livelli elevati di tensione elettrica e campi di ionizzazione per catturare le particelle aerodisperse. Basa quindi il suo funzionamento sull'applicazione di campi elettrici e di forze elettrostatiche direttamente sulle particelle e sui microrganismi presenti nell'aria. Si svolge in due fasi: conferimento di una carica elettrica alle particelle e ai microrganismi aerotrasportati e precipitazione elettrostatica delle particelle/microrganismi caricati. Il campo elettrico generato cattura le particelle e le intrappola sulla superficie delle piastre di raccolta; questo contatto distrugge i microrganismi. Il vantaggio è che non di devono sostituire i filtri.

I filtri che operano con questo principio presentano l'inconveniente, dovu-

to ai campi elettrici, di consentire la trasformazione di parte dell'ossigeno in ozono, gas tossico e irritante (vedi §§ 6.2 e 14.3). Le tecnologie di filtrazione elettrostatica di nuova concezione sono rivolte alla decontaminazione dell'aria di aree critiche e l'efficienza di filtrazione dell'aria è elevata, in quanto raccolgono particelle di tutte le dimensioni, comprese quelle ultrafini.

Per molecole gassose o sotto forma di vapore, vi sono anche i filtri adsorbenti in carbone attivo (vedi Capitolo 9) che possiedono una superficie porosa ottenuta con trattamenti particolari in grado di catturare gli inquinanti nei macropori e condensarli nei micropori. Si possono trovare sotto forma di granuli (GAC – *Granular Activated Carbon*) o in polvere (PAC – *Powdered Activated Carbon*) in confezioni di tessuto non tessuto che vengono sistemate in prossimità dei passaggi dell'aria. Sono particolarmente idonei per ozono, acidi organici ecc., mentre per ossidi di azoto, formaldeide ecc., sono più indicati quelli che agiscono per chemiadsorbimento ove il carbone attivo è impregnato con sostanze chimiche in grado di neutralizzare le molecole contaminanti.

I filtri in allumina impregnata sono adatti, invece, per la rimozione di composti organici e inorganici, che non possono essere trattati per solo adsorbimento fisico. Sono utili per l'eliminazione di molecole quali etilene, formaldeide, composti solforati, ossidi di azoto, diossidi di zolfo e per altri composti organici. Avendo la proprietà di virare di colore, dal violetto al marrone, tale caratteristica permette un controllo visivo continuo del grado di saturazione. Mentre per i carboni attivi si verifica il de-adsorbimento, l'allumina attivata non restituisce le sostanze trattenute[64].

Occorre prendere in considerazione che la scelta del filtro deve essere valutata non solo in riferimento all'efficienza di filtrazione, ma anche tenendo presente della quantità d'aria che è necessario ricambiare ogni ora e le condizioni dell'aria all'esterno del locale dove è installato il dispositivo di trattamento dell'aria. Inoltre è da considerare che un filtro ad altissima efficienza offre una maggiore resistenza al flusso d'aria e quindi riduce la portata oraria di aria ricambiata.

I filtri devono essere sostituiti regolarmente in quanto in caso di saturazione non solo si verifica l'inattivazione del sistema ma anche la cessione degli inquinanti adsorbiti. Inoltre nel tempo possono risultare biocontaminanti per cui devono essere sottoposti periodicamente a controlli e manutenzioni avendo cura di rimuovere il biofilm o i residui di strutture microbiche ricorrendo anche a sostanze biocide.

Conclusioni Da considerare che l'impiego di impianti di ventilazione idonei, interagendo direttamente sul rapporto temperatura e umidità relativa, previene inoltre i rischi di biodeterioramento[65]. Bassi e costanti livelli di ventilazione con adeguati rapporti di ricambi d'aria possono contenere infatti la crescita di microfunghi. Lo stesso effetto si può avere sui materiali cartacei, anche in presenza di alti contenuti di acqua (10-12%), purché la temperatura sia mantenuta stabilmente bassa in un ambiente costantemente ventilato[66]. È stato sperimentalmente dimostrato l'arresto o la diminuzione della crescita microbica su materiali fortemente attaccati da funghi allestendo ambienti deputati alla conservazione di 25–30 m^3 con una ventilazione continua per 3 mesi e 4–7 ricambi d'aria per ora[67].

Accanto agli indubbi vantaggi, nel caso in cui però la progettazione degli impianti non risulti corretta, oppure in mancanza di adeguate manutenzioni, in particolare delle unità di trattamento dell'umidità o del sistema filtrante, è probabile che si possano determinare anche rischi per la salute. Una signifi-

cativa quota parte delle sostanze indesiderate viene, infatti, reintrodotta per mezzo degli stessi sistemi di ventilazione; inoltre le tubature di conduzione trasportando il particolato costituiscono substrati favorevoli per uno sviluppo microbico. L'aria che attraversa i filtri ridistribuita in ambiente *indoor* può quindi dare luogo a condizioni di malessere (sonnolenza, mal di testa, irritazione agli occhi e all'apparato respiratorio ecc.). Inoltre in numerosi edifici, nonostante la portata di ventilazione sia adeguata a purificare l'aria, elevate percentuali di persone considerano comunque la qualità dell'aria insoddisfacente.

A tal proposito si rammenta che i sistemi di condizionamento dell'aria devono essere progettati, costruiti e installati in modo da consentire una adeguata igiene delle superfici interne e dei componenti, in conformità con le "Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva per gli impianti di climatizzazione"[68], già precedentemente citate.

Da tenere presente inoltre che filtri intasati impediscono il flusso d'aria e filtri danneggiati, oltre a contribuire ad una perdita di efficienza, creano danni alle apparecchiature di trattamento e distribuzione dell'aria, permettendo alla polvere e agli inquinanti di circolare. Si impone quindi il rispetto dei requisiti igienici di tali apparecchiature effettuando periodicamente ispezioni tecniche e manutentive, da parte di personale specializzato, nell'ottica di una corretta azione di prevenzione.

Infine si sottolinea che possibili soluzioni alternative agli impianti HVAC sono le "unità di abbattimento" premontate in cui vengono utilizzati filtri speciali monouso a seconda delle sostanze chimiche da intercettare. In ambienti di dimensioni contenute si può ricorrere a unità autonome di riciclaggio dell'aria come ad esempio il Positive Pressurization Unit (PPU) della Purafil, dispositivo che abbatte un'ampia gamma di inquinanti utilizzando diversi *media* quali:

- Select Chemisorbant®, granuli di allumina (Al_2O_3) impregnata con permanganato di potassio ($KMnO_4$) e sodio bicarbonato ($NaHCO_3$) che neutralizza gas corrosivi;
- Puracarb®, granuli di carbone e allumina (Al_2O_3) attivati e altri leganti, che neutralizza in modo irreversibile cloro (Cl_2), solfuro di idrogeno (H_2S) e diossido di zolfo (SO_2);
- miscele di Select Chemisorbant® e carbone attivo, che eliminano composti volatili, contaminanti gassosi, idrocarburi e gas acidi;
- SP®, granuli di allumina (Al_2O_3) impregnata con permanganato di sodio ($NaMnO_4$) per la rimozione di solfuro di idrogeno (H_2S), diossido di zolfo (SO_2), monossido di azoto (NO) e formaldeide (CH_2O);
- Purakol®, granuli di carbone attivo, di altissima qualità, non impregnato per l'abbattimento di vari inquinanti quali: toluene ($C_6H_5CH_3$), tricloroetano (CH_3CCl_3), cloro (Cl_2), diossido di azoto (NO_2);
- Chlorosorb®, granuli di carbone attivo, allumina attivata e altri leganti per l'abbattimento del cloro (Cl_2).

Certamente le strategie di controllo dell'inquinamento *indoor*, come ad esempio l'applicazione di filtri nei sistemi di condizionamento, comportano costi finanziari e ambientali significativi. Per tale motivo le considerazioni già espresse negli altri capitoli si possono estendere anche a questo ambito e quindi, ove possibile, è meglio preferenziare sistemi passivi in linea con i principi della sostenibilità ambientale introdotti sinteticamente già nei §§ 1.6 e 4.7.

Note alle immagini

Figg. 7.1 ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Vittorio Bianchi Matè.

Figg. 7.2, 7.3. 7.4 e 7.5 riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Donatella Matè.

Figg. 7.6, 7.7 e 7.8 riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Sergio Lucretti (ENEA-SSPT-BIOAG-BIOTEC C.R. Casaccia).

I materiali fotografici relativi alle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] M. Adamo, U. Cesareo, *Problemi sanitari per gli addetti al settore*, in *Sulle fotografie danneggiate, Gestione degli organismi infestanti*, M. Adamo, D. Matè, P. Trematerra (eds.), Roma, Enea, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 2015, pp. 131–141.

[2] R. Montacutelli, O. Maggi, G. Tarsitani, N. Gabrielli, *Aerobiological monitoring of "Sistine Chapel": airborne bacteria and microfungi trends*, in *Aerobiologia*, 16, 2000, pp. 441–448, DOI: 10.1023/A:1026525432412; A. Lugauskas, L. Sveistyte, V. Ulevicius, *Concentration and species diversity of airborne fungi near busy streets in Lithuanian urban areas,* in *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10, 2, 2003, pp. 233–239; S. Sanchez-Moral, L. Luque, S. Cuezva, V. Soler, D. Benavente, L. Laiz, J.M. Gonzalez, C. Saiz-Jimenez, *Deterioration of building materials in Roman catacombs: the influence of visitors*, in *Science of the Total Environment*, 349, 1, 2005, pp. 260–276, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.12.080; R.H.M. Godoi, S. Potgieter-Vermaak, A.F.L. Godoi, M. Stranger, R. Van Grieken, *Assesment of aerosol particles within the Ruben's House museum in Antwerp*, *Belgium*, in *X- Ray Spectrometry*, 37, 2008, pp. 298–303, DOI: 10.1002/xrs.1049.

[3] Y.H. Yoon, P. Brimblecombe, *Contribution of dust at floor level to particle deposit within the Sainsbury Centre for Visual Arts*, in *Studies in Conservation*, 45, 2, 2000, pp. 127–137, DOI: 10.2307/1506670.

[4] Ministero della Salute – Accordo Stato-Regioni, Provvedimento 05/10/2006, *Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione*, in G.U. Serie Generale n. 256 del 3 novembre 2006 – Suppl. Ordinario n. 207; INAIL–Dipartimento Igiene del Lavoro, *La contaminazione microbiologica negli impianti di trattamento aria*, 2015, da:https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-contaminazione-microbiologica-impianti-trattamento-aria.pdf (consultato il 16/06/2022).

[5] M.C. Sclocchi, D. Matè, *Conservazione preventiva dal biodeterioramento per beni archivistici e aspetti sanitari riguardanti operatori ed utenti*, in *Biologi Italiani*, XXXIV, 3, 2004, pp. 31–43; G. Tarsitani, *La prevenzione del rischio biologico: aspetti igienistici della microflora*, in *La biologia vegetale per i beni culturali*, vol. I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 302–307; L. Frusteri, *Il rischio biologico nei luoghi di lavoro. Schede tecnico-informative*, INAIL – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione (CONTARP), 2011, pp. 1–84, da: http://www.geosicur.it/public/documentazione/Guida_INAIL-_Rischio_Biologico_nei_luoghi_di_lavoro.pdf (consultato il 15/06/2022); L. Frusteri, D. De Grandis, F. Scarlini, G. Pontuale, *Manuale per la Valutazione del rischio biologico. Ambienti indoor e outdoor*, Edizioni EPC, Roma, 2011.

[6] INAIL, *Il monitoraggio microbiologico negli ambienti di lavoro – Campionamento e analisi*, Linee Guida CONTARP – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione, Milano, INAIL, 2010, pp. 1–91, da: https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-il-monitoraggio-microbiologico-negli-ambienti-lavoropdf.pdf (consultato il 15/06/2022).

[7] N. Vonesch, P. Tomao, M.C. D'Ovidio, *Foglio di approfondimento – Allergeni di origine animale,* ISPESL, s.d., pp. 1–6; N. Vonesch, P. Tomao, M.C. D'Ovidio, *Foglio di approfondimento* – ISPESL, s.d., pp. 1–2, da: https://documen.site/download/foglio-di-approfondimento-allergeni-di-origine-animale_pdf (consultato il 21/06/2022).

[8] ARPAT – Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana, *Verde ambiente e salute. Approccio multidisciplinare alla gestione del verde per la promozione della salute*, M. Onorari, D. Scala, C. Licciardello, K. Tayeh, V. Begliomini, S. Angiolucci, M. Filindassi, D. La Monica, C. Scarpi, M.

Trevisani, CD-ARPAT, 2010.

[9] L. Frusteri, R. Giovinazzo, *Linee Guida, Allergeni indoor nella polvere degli uffici. Campionamento e analisi*, INAIL – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione, 2003, pp. 1–34, da: https://www.inail.it/cs/internet/docs/linee-guida-per-il-campionamento-e-l_analisi-degli-allergeni.pdf?section=attivita (consultato il 06/06/2022).

[10] INAIL 2010, *op. cit.*

[11] R.K. Bush, J.J. Prochnau, *Alternaria-induced asthma*, in *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 113, 2, 2004, pp. 227–234, DOI: 10.1016/j.jaci.2003.11.023.

[12] M. Lopez, J.E. Salvaggio, *Mold-sensitive asthma*, in *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*, 3, 2, 1985, pp. 183–196, DOI: org/10.1016/j.jaci.2003.11.023.

[13] L. Frusteri, P. Iacovacci, C. Novi, G. Di Felice, C. Pini, M. Maroli, R. d'Angelo, *Allergeni di origine biologica: risultati preliminari di un confronto tra ambienti domestici ed uffici*, in *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 23, 3, 2001, p. 351.

[14] A. Custovic, A. Fletecher, C.A. Pickering, H.C. Francis, R. Green, A. Smith, M. Chapman, A. Woodcock, *Domestic allergens in public places III: house dust mite, cat, dog and cockroach allergen in Britain hospitals*, in *Clinical & Experimental Allergy*, 28, 1, 1998, pp. 53–59, DOI: 10.1046/j.1365-2222.1998.00183.x.

[15] P.B. Cornwell, *The Cockroach, vol. 1, A laboratory insect and an industrial pest*, London, Hutchinson, 1968; R.A. Wirtz, *Allergic and toxic reaction to non-stinging arthropods*, in *Annual Review of Entomology*, 29, 1984, pp. 47–69, DOI: 10.1146/annurev.en.29.010184.000403.

[16] N. Vonesch *et al.* s.d., *op. cit.*

[17] Y. Fukutomi, Y. Kawakami, M. Taniguchi, A. Saito, A. Fukuda, H. Yasueda, T. Nakazawa, M. Hasegawa, H. Nakamura, K. Akiyama, *Allergenicity and cross-reactivity of booklice (Liposcelis bostrychophila): A common household insect pest in Japan*, in *International Archives of Allergy and Immunology*, 157, 4, 2012, pp. 339–348, DOI: 10.1159/000329853; O. Ishibashi, K. Sakuragi, Y. Fukutomi, Y. Kawakami, Y. Kamata, M. Sakurai, S. Nakayama, H. Uchiyama, H. Kobayashi, H. Kojima, T. Inui, *Lip b 1 is a novel allergenic protein isolated from the booklouse, Liposcelis bostrychophila*, in *Allergy*, 72, 6, 2017, pp. 918–926, DOI: 10.1111/all.13091.

[18] A. Magliano, *Infestazioni da insetti in ambienti confinati. Una problematica sanitaria emergente: sclerodermi, pidocchi dei libri e cimici dei letti*, in *Prevenendo*, Dipartimento di Prevenzione ASL RmB, 2003, pp. 8–11.

[19] F.F. Brito, P. Mur, D. Barber, M. Lombardero, P.A. Galindo, E. Gòmez, J. Boria, *Occupational rhinoconjunctivitis and asthma in a wool worker caused by Dermestidae spp.*, in *Allergy*, 57, 2002, pp. 1191–1194, DOI: 10.1034/j.1398-9995.2002.23676.x.

[20] B. Barletta, E. M. Puggioni, C. Afferni, C. Butteroni, P. Iacovacci, R. Tinghino, R. Ariano, R.C. Panzani, G. Di Felice, C. Pini, *Preparation and characterization of silverfish (Lepisma saccharina) extract and identification of allergenic components*, in *International Archives of Allergy and Immunology*, 128, 3, 2002, pp. 179–186, DOI: 10.1159/000064250; B.M. Morfín Maciel, F. Mendoza, *Lepisma saccharina: an unnoticed allergen*, in *Revista Alergia Mexico*, 50, 1, 2003, pp. 25–27; B. Barletta, C. Butteroni, E.M. Puggioni, P. Iacovacci, C. Afferni, R. Tinghino, R. Ariano, C. Panzani, C. Pini, G. Di Felice, *Immunological characterization of a recombinant tropomyosin from a new indoor source, Lepisma saccharina,* in *Clinical & Experimental Allergy*, 35, 2005, pp. 483–489, DOI: 10.1111/j.1365-2222.2005.02214.x; M. Boquete, F. Pineda, A. Mazon, A. Garcia, F. Oliver, N. Colomer, R. Pamies, C. Millan, C. Millan Olmo, L. Caballero, L. Prieto, A. Nieto, *Sensitisation to Lepisma saccharina (silverfish) in children with respiratory allergy*, in *Allergology and Immunopathology*, 36, 4, 2008, pp. 191-195, DOI: 10.1157/13127041; S. La Grutta, M. Calvani, M. Bergamini, N. Pucci, R. Asero, *Allergia alla Tropomiosina: dalla diagnosi molecolare alla pratica clinica*, in *Rivista di Immunologia e Allergologia Pediatrica*, SIAIP Commissione Diagnostica, 2, anno XXV, 2011, pp. 20–38, da: https://www.riaponline.it/wp-content/uploads/2015/03/RivRiap2_11.pdf (consultato il 10/06/2022).

[21] B. Barletta, G. Di Felice, C. Pini, *Biochemical and*

molecular biological aspects of silverfish allergens, in *Protein & Peptide Letters,* 14, 10, 2007, pp. 970-974, DOI: 10.2174/092986607782541123.

[22] E. Ruschioni, D. Matè, U. Cesareo, *Insetti e problemi sanitari negli archivi*, in *Biologi Italiani*, XXXV, 2, 2005, pp. 52-56; E. Ruschioni, D. Matè, U. Cesareo, *Aerobiologia e problemi di entomofauna negli archivi*, in *Bollettino ICR*, 14, 2007, pp. 40-43.

[23] M. Principato, G.A. Polidori, *Scleroderma domesticum* (*Hymenoptera: Bethylidae*), *un parassita associato al tarlo dei mobili, quale causa di dermatite nell'uomo*, Atti del III Congresso Associazione Nazionale di Parassitologia Medica, 7-9 settembre 1995, Brescia, in *Rivista di Parassitologia*, vol. XII (LVI), suppl. 3, 1995; M. Principato, Dermatite estiva da *Scleroderma domesticum* (Hymenoptera: Bethylidae) nell'uomo, in *Esperienze Dermatologiche*, 3, 3, 2001, pp. 303-305.

[24] J. Lim, M. Oh, J. Lee, S. Lee, *Cephalonomia gallicola* (Hymenoptera: Bethylidae), *New to Korea, an ectoparasitoid of the Cigarette Beetle, Lasioderma serricorne (Coleoptera: Anobiidae)*, in *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 10, 4, 2007, pp. 335-338, DOI: 10.1016/S1226-8615(08)60372-6; I.-Y. Lee, C.S. Shin, S. Sim, J.-W. Park, T.-S. Yong, *Human sting of Cephalonomia gallicola (Hymenoptera: Bethylidae) in Korea*, in *The Korean Journal of Parasitology,* 52, 6, 2014, pp. 681-684, DOI: 10.3347/kjp.2014.52.6.681.

[25] M. Principato, V. Lapomarda, *Dermatite da Allepyris ruficrus Kieffer, 1906 (Hymenoptera: Bethylidae, Epyrinae)*, in *SIDAPA 5º congresso nazionale società italiana di dermatologia allergologica, professionale e ambientale, 27-28 ottobre 2005 Bagni di Tivoli, Roma* (abstract), p. 94.

[26] I. Castrovillari, *Le endotossine batteriche, un rischio emergente? Studi effettuati in impianti di trattamento e gestione rifiuti*, UNIPISI, Salute & Prevenzione, 2012, pp. 1-7, da: http://www.puntosicuro.info/documenti/documenti/130322_Rischio_biologico_rifiuti_endotossine.pdf (consultato il 10/06/2022).

[27] L. Bonadonna *et al.* 2013, *op. cit.*

[28] M.S. Salkinoja-Salonen, J. Peltola, M.A. Andersson, C. Saiz-Jimenez, *Microbial toxins in moisture damaged indoor environment and cultural assets*, in *Molecular Biology and Cultural Heritage*, C. Saiz-Jimenez (ed.), Lisse (NL), Balkema Publishers, 2003, pp. 93-105.

[29] I. Castrovillari 2012, *op. cit.*

[30] R. Ariano, *Un Fungo Emergente: lo Stachybotrys cartharum*, in *Aerobiologia ed Allergeni Stagionali*, cap. 12, Pollinieallergia - aerobiologia, ecologia e prevenzione ambientale, 2015, da: https://www.pollinieallergia.net/un-fungo-emergente-lo-stachybotrys-cartharum-a108 (consultato 06/06/2022).

[31] R. Ariano, *Le spore fungine come agenti patogeni,* in *Aerobiologia ed Allergeni Stagionali*, cap. 10, Pollinieallergia - aerobiologia, ecologia e prevenzione ambientale, 2015, da: https://www.pollinieallergia.net/le-spore-fungine-come-agenti-patogeni.-a260 (consultato il 14/06/2022).

[32] ECA - European Collaborative Action, *Indoor Air Quality and its Impact on Man*, Report n. 4, *Sick Building Syndrome - A Practical Guide*, Commission of the European Communities, Luxembourg, 1989; World Health Organization, *Air Quality Guidelines for Europe - Second Edition*, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 2000; S.A. Abdul-Wahab 2011, *op. cit*.

[33] ECA - European Collaborative Action 1989, *op. cit.*

[34] INAIL 2010, *op. cit.*

[35] NIOSH - The National Institute for Occupational Safety and Health, *Request for Assistance in Preventing Organic Dust Toxic Syndrome*, Publication No. 94-102, April 1994, pp. 1-7, da: http://www.cdc.gov/niosh/docs/94-102/pdfs/94-102.pdf (consultato 12/09/2021); D. Bachtiar, A.D. Susanto, *Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS)*, in *Jurnal Respirasi*, 2, 1, pp. 24-28, 2016, DOI: 10.20473/jr.v2-I.1.2016.24-28.

[36] G. Bortoletti, *Pulci*, in *Enciclopedia Medica Italiana*, seconda edizione, vol. 12, Firenze, USES, 1973, pp. 2049-2054; I. De Carneri, *Parassitologia generale e umana*, C. Genchi, E. Pozio (eds.), Milano, Casa Editrice Ambrosiana, 1997.

[37] G. Pasquariello, *L'Aerobiologia applicata alla conservazione dei beni culturali negli ambienti confinati*, in *Biologia e Archeologia nei Beni Culturali, Conoscenze, problematiche e casi di studio*, C. Sabbioni, F. Persia, L. Castelletti (eds.), AIAR e Musei Civici, Como, Comune di Como, 2006, pp. 125–141; C. Pasquarella, R. Albertini, G. Tarsitani, G. Pasquariello, *Metodologie e tecniche di diagnosi del rischio biologico dei beni culturali di natura organica conservati in ambienti indoor: un approccio integrato*, in *Diagnosis for the conservation and valorization of cultural heritage*, L. Campanella, C. Piccioli, Atti del Primo Convegno Internazionale, Napoli, 9–10 dicembre, 2010, pp. 373–379; C. Pasquarella, G. Pasquariello, M. Ugolotti, E. Saccani, C. Moroni, G. Tarsitani, R. Albertini, *Un sistema integrato di diagnosi per la prevenzione del rischio biologico in ambienti indoor. Alcuni casi studio*, in *"Lo Stato dell'Arte 9"*, IX Congresso Nazionale IGIIC, Cosenza, 13–15 ottobre 2011, Firenze, Nardini Editore, 2011, pp. 43–50; P. Valenti, D. Matè, *La gestione del rischio biologico: la salute delle opere d'arte*, in *Gea – Giornale Europeo di Aerobiologia Medicina ambientale e infezioni aerotrasmesse*, Atti del XIII Congresso Nazionale A.I.A., Allergia Aerobiologia Ambiente, Brindisi, 27–29 Settembre 2012, vol. VIII, 1, 2012, pp. 19–21.

[38] INAIL 2010, *op. cit.*

[39] *Ibid.*

[40] C. Dacarro, E. Grignani, L. Lodola, P. Grisoli, D. Cottica, *Proposta di indici microbiologici per la valutazione della qualità dell'aria degli edifici,* in *Giornale italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 22, 3, 2000, pp. 229–235.

[41] UNI 11527:2014, *Beni culturali – Rilevamento della carica microbica dell'aria in ambienti interni – Metodo di campionamento passivo mediante piastre di sedimentazione*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2014.

[42] L. Frusteri, R. Giovinazzo 2003, *op. cit.*

[43] L. Frusteri, R. Giovinazzo, P. Iacovacci, S. Barca, E. Guerrera, M. Mameli, C. Novi, D. Sarto, N. Todaro, G. Di Felice, C. Pini, *Allergeni indoor negli uffici. Proposta per il campionamento e l'analisi della polvere*, in *La prevenzione che cambia. I ruoli, le strategie e le sinergie degli "attori" coinvolti*, 3° Seminario aggiornamento dei professionisti Contarp, 2004, pp. 585–590, da: https://www.frareg.com/cms/wp-content/uploads/inail_allergeni-indoor.pdf (consultato il 21/06/2022).

[44] INAIL 2003, *op. cit.*

[45] F. Gallo, *Aerobiological research and problems in libraries*, in *Aerobiologia*, 9, 2–3, 1993, pp. 117–130; P. Mandrioli, G. Caneva, *Aerobiologia e Beni Culturali: Metodologie e Tecniche di Misura*, Fiesole, Nardini Editore, 1998; O. Maggi, A.M. Persiani, F. Gallo, P. Valenti, G. Pasquariello, M.C. Sclocchi, M. Scorrano, *Airborne fungal spores in dusts present in archives: proposal for a dection method, new for archival materials*, in *Aerobiologia*, 2000, 16, 3, pp. 429–434, DOI: 10.1023/A:1026522826477.

[46] C. Pasquarella, P. Vitali, R. Albertini, *Il monitoraggio microbiologico dell'aria in ambienti sanitari*, in *Gea – Giornale Europeo di Aerobiologia Medicina ambientale e infezioni aerotrasmesse*, Atti del XIII Congresso Nazionale A.I.A., Allergia Aerobiologia Ambiente, Brindisi, 27–29 Settembre 2012, vol. VIII, 1, 2012, pp. 46–48.

[47] L. Bonadonna, R. Briancesco, B. Brunetto, A. Maria Coccia, V. De Gironimo, S. Della Libera, S. Fuselli, P. Margherita Bianca Gucci, P. Iacovacci, I. Lacchetti, G. La Rosa, P. Meloni, R. Paradiso, C. Pini, M. Semproni, Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor, *Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor*, Roma, Istituto Superiore di Sanità, 2013 (Rapporti ISTISAN 13/37).

[48] J.M. Hirst, *An automatic volumetric spore trap*, in *Annual of Applied Biology*, 39, 1952, pp. 257–265, DOI: 10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x.

[49] INAIL, *La contaminazione microbica delle superfici negli ambienti lavorativi*, R. Giovinazzo (ed.), INAIL, 2017, pp. 1–121, da: https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-pubbl-la-contaminazione-microbiologica-delle-superfici.pdf (consultato il 21/06/2022).

[50] P. Iacovacci, C. Pini 2008, *op.cit.*

[51] G. Piñar, M.C. Sclocchi, K. Sterflinger, *Assessment of fungal infection in the Artemidorus papyrus using microscopy and third generation sequencing techno-*

logy, in *Il Papiro di Artemidoro: studio, analisi, restauro*, M.L. Sebastiani e P. Cavalieri (eds.), Quaderni Ottanta dell'ICPAL, Roma, Gangemi editore, 2020.

[52] INAIL, *Procedura sperimentale per la determinazione di spore fungine in atmosfera*, Inail, pp. 1–24, 2016, da: https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-spore-fungine-atmosfera.pdf (consultato il 21/06/2022).

[53] F. Pinzari, V. Cialei, N. Barbabietola, *Measurement of the fungal deteriorating potential in the dust of indoor environment*, in *e-Preservation Science*, 7, 2010, pp. 29-34.

[54] A. Santarsiero, L. Musmeci, A. Ricci, S. Corasaniti, P. Coppa, G. Bovesecchi, R. Merluzzi, S. Fuselli, *Parametri microclimatici e inquinamento indoor*, Roma, Istituto Superiore di Sanità, Rapporti ISTISAN 15/25, 2015, da: https://www.researchgate.net/publication/281583919_Parametri_microclimatici_e_inquinamento_indoor (consultato il 21/06/2022).

[55] UNI EN ISO 16890-1:2017, *Filtri d'aria per ventilazione generale – Parte 1: Specifiche tecniche, requisiti e sistema di classificazione dell'efficienza basato sul particolato (ePM)*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2017.

[56] UNI EN 16893: 2018, *Conservazione del patrimonio culturale – Specifiche per la scelta del luogo, la costruzione e le modifiche di edifici o sale finalizzate al deposito o all'esposizione di collezioni del patrimonio culturale*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2018.

[57] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers), *Museums, Libraries, and Archives*, ASHRAE Application Handbook, 1, Atlanta, 2003; Istituto per i beni culturali e naturali della Regione Emilia-Romagna, *op. cit.*, 2007.

[58] UNI EN 779:2012, *Filtri d'aria antipolvere per ventilazione generale – Determinazione della prestazione di filtrazione*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2012; ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2012 *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle size.*

[59] UNI EN 1822-1:2019, *Filtri per l'aria ad alta efficienza (EPA, HEPA e ULPA) – Parte 1: Classificazione, prove di prestazione, marcatura*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010.

[60] I.M. Hutten, *Handbook of Nonwoven Filter Media*, 2nd edition, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2015.

[61] T. Sparks, G. Chase, *Filters and Filtration Handbook,* 6th edition, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2016, DOI: 10.1016/C2012-0-03230-9.

[62] M. Gorji, R. Bagherzadeh, H. Fashandi, *Electrospun nanofibers in protective clothing*, in *Electrospun nanofibers*, M. Afshari (ed.), Cambridge, Woodhead Publishing, 2017, pp. 571–598.

[63] UNI 11254:2007, *Filtri per aria elettrostatici attivi per la ventilazione generale – Determinazione della prestazione di filtrazione*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2007.

[64] A. Briganti, *Filtrazione e disinquinamento dell'aria*, 2 ed., Milano, Tecniche Nuove, 1994.

[65] N. Valentin, R. Garcia, O. De Luis, S. Maekawa, *Microbial control in museums, archives and libraries by air ventilation systems*, in *Restaurator*, 19, 1997, pp. 85–107; N. Valentin, R. Garcia, J.L. Ibañez, S. Maekawa, *Air Ventilation for Arresting Microbial Growth in Archives*, in *La conservation à l'ère du numérique*, Actes des quatrièmes journées internationales d'études de l'Arsag, Paris, 27-30 mai 2002, Paris, Association pour la récherche scientifique sur les arts graphiques, 2002, pp. 139–150.

[66] *Ibid.*

[67] N. Valentin, *Microbial contamination in museum collection: Organic materials*, in *Molecular Biology and Cultural Heritage, Proceedings of the International Congress on Molecular Biology and Cultural Heritage, 4-7 March 2003, Sevilla, Spain*, C. Saiz-Jimenez (ed.), Lisse, A. A. Balkema Publishers, 2003, pp. 85–91.

[68] Ministero della Salute – Accordo Stato-Regioni, Provvedimento 05/10/2006, *op. cit.*

8 Gestione integrata degli organismi infestanti

Marianna Adamo, Donatella Matè, Massimo Cristofaro,
Pasquale Trematerra

I processi di biodeterioramento in archivi, biblioteche e musei sono tra le cause principali di alterazioni irreversibili che possono portare ad una rapida quanto ineluttabile perdita degli oggetti ivi custoditi. Gli effetti di tali cambiamenti provocano sui beni, a volte di enorme valore storico e artistico, danni molto spesso permanenti che comportano costi onerosi per cure e salvaguardia; si possono in tal modo determinare trasformazioni irreversibili dei substrati e/o a variazioni della loro estetica tali da compromettere in modo sostanziale leggibilità e consultazione.

Può essere d'aiuto per chiarire il concetto di danno (in tutte le sue accezioni), la definizione data da Jonathan Ashley-Smith (1995)[1], per anni conservatore presso il Victoria & Albert Museum di Londra: «Qualcosa che determina un effetto sul nostro livello di comprensione e di piacere o in durata dell'oggetto e provoca una diminuzione del beneficio totale.» (vedi § 13.6). Tale concetto generale può essere utilizzabile anche per il danno di natura biologica.

Nel 1965, a Londra, si svolge il primo simposio del "Microbial Group of the Society of Chemical Industry" e, nel 1968, a Southampton, il primo evento internazionale: l'"International Biodeterioration Symposium"[2]. In questo evento il termine biodeterioramento viene proposto come l'insieme dei processi di natura fisica e/o chimica causati dall'attività vitale di deteriogeni caratterizzati dalla capacità di utilizzare un substrato, di natura organica, per sostenere la propria crescita e riproduzione inducendovi modifiche sostanziali[3] (di tale tematica si parlerà ancora nel Capitolo 9).

Nel contesto dei beni culturali tali modifiche rendono spesso il bene inadeguato alla consultazione il cui ripristino è subordinato ad articolati e onerosi interventi di contenimento, controllo e restauro. Nella loro complessità i danni di natura biologica possono essere ricondotti all'associazione di fattori correlati, il risultato cioè dell'interazione ("sistema") tra presenza e attività dei vari deteriogeni nell'ambiente *indoor* (con le loro specifiche capacità metaboliche), parametri ambientali (temperatura, umidità relativa, radiazioni luminose, flusso d'aria ecc.), caratteristiche chimico-fisiche dei materiali costitutivi (grado di biodegradabilità – risposta al biodeterioramento) e relativo scambio termodinamico. Infine occorre tenere presente anche del "fattore tempo", elemento indispensabile per l'instaurarsi del danno, a dimostrazione che le relazioni causa-effetto non sono mai così nette e definite.

Responsabili dei danni di natura biologica, oltre all'uomo, sono alcuni artropodi, roditori e microrganismi, entità che, a causa delle difficoltà sempre maggiori riscontrabili nel mantenere idonee le condizioni ambientali delle strutture adibite alla conservazione, trovano in questi luoghi opportunità favorevoli per lo sviluppo e la crescita. L'aggressione biologica delle fotografie è favorita in particolare dalla presenza della matrice cellulosica (supporti cartacei), dei leganti (soprattutto albumina e gelatina), dei costituenti impiegati per i montaggi (cuoio, pelle, legno), delle colle ecc., tutti materiali utilizzabili come fonte nutrizionale da molti organismi o per la costruzione di nidi (nel caso dei roditori). Da notare che altresì le plastiche, il vetro e altri supporti possono in vario modo essere soggetti a danni biologici, in realtà ogni singola componente materica possiede una sua potenziale suscettibilità all'attacco

di questi eterotrofi in grado di svilupparsi sui vari substrati. La presenza delle varie risorse trofiche associata a condizioni ambientali favorevoli può quindi facilitare l'insediamento e la riproduzione di varie specie biodeteriogene, al punto da causarne vere e proprie esplosioni demografiche[4].

Nel presente capitolo verrà affrontato il danno da parte degli infestanti (artropodi e roditori) con particolare riferimento agli insetti e alle strategie integrate da adottare sulla base dell'approccio biosostenibile dell'*Integrated Pest Management* (IPM). Nel capitolo successivo l'attenzione sarà, invece, rivolta al danno provocato dai microrganismi.

8.1 Organismi infestanti

Gli organismi della classe Insecta (Linnaeus, 1758) devono il loro nome alla struttura metamerica (suddivisione seriale) del corpo. Rappresentano il raggruppamento più numeroso del *Phylum* Arthropoda e dominano sulla Terra sia come numero di esemplari sia come copiosità di *taxa* costituendo infatti, da soli, più dei tre quarti di tutte le specie animali conosciute. La Classe Insecta è stata sinonimo di Hexapoda (Latreille, 1825) e comprende anche gli Entognatha (Collembola, Protura e Diplura) (fig. 8.1), esapodi privi di ali.

La metameria degli Insetti è di tipo eteronomo, con il corpo generalmente suddiviso in tre regioni morfologiche distinte (capo, torace e addome). Il capo è provvisto di antenne, mandibole e mascelle; il torace porta appendici, le zampe e, tipicamente, le ali (espansioni laterali). L'addome è la regione in cui hanno sede gli organi della riproduzione. L'intero corpo è racchiuso in un esoscheletro articolato, costituito da proteine e chitina, che rappresenta una protezione efficace e uno speciale meccanismo di movimento e locomozione[5].

L'apparato digerente è modificato a seconda del regime alimentare delle varie specie. Durante la fase digestiva avviene la demolizione delle molecole organiche (lipidi, proteine, disaccaridi, amido, cellulosa ecc.). Gli enzimi litici sono prodotti dagli stessi insetti ma possono anche derivare da microrganismi simbionti (Batteri, Funghi, Protozoi); in tal caso l'insetto utilizza i prodotti di scarto dei microrganismi o, più semplicemente, si nutre a spese dei microrganismi stessi. La digestione microbica interessa gli insetti fitofagi in senso lato e gli insetti xilofagi. In questi casi la dieta è ricca di componenti nutritivi come cellulosa e lignina che la digestione enzimatica, da sola, non è in grado di attaccare oppure ha una composizione squilibrata, povera in alcuni principi nutritivi[6]. La digestione enzimatica dipende fondamentalmente dalla dieta dell'insetto e dalle sue caratteristiche morfologiche, anatomiche ed etologiche e per tale motivo la dotazione di enzimi è correlata alla specificità alimentare. Ad esempio i consumatori di legno dispongono di una vasta gamma di enzimi che digeriscono i glucidi (saccarasi, amila-



Fig. 8.1

Esemplare di collembolo (i Collemboli sono i più antichi esapodi conosciuti) finito su trappola adesiva. Questo entognato si differenzia dagli insetti per avere 6 segmenti addominali e l'apparato boccale racchiuso in una cavità (al contrario degli Insetti in cui le appendici boccali sono visibili dall'esterno). Si nutre di batteri, polline, spore, ife fungine ecc.

si, invertasi, maltasi ecc.) e possiedono spesso un diverticolo posteriore che contiene organismi simbionti in grado di idrolizzare la cellulosa in zuccheri assimilabili. Le specie onnivore dispongono invece di altri enzimi (oltre a saccarasi e amilasi anche proteasi, lipasi ecc.) che consentono la digestione e la successiva assimilazione della maggior parte dei principi nutritivi contenuti in tessuti animali e vegetali.

Per quanto riguarda il sistema respiratorio esso riprende in parte la struttura metamerica del corpo e consta di una complessa e fitta rete di condotti con la finalità di diffondere l'ossigeno fino alle singole cellule. Gli organi fondamentali sono: stigmi, trachee e tracheole. Gli stigmi permettono gli scambi gassosi, più o meno controllati dall'insetto, con l'esterno e la loro apertura è regolata anche in funzione dell'umidità ambientale costituendo un requisito fondamentale per la protezione dell'organismo dalla disidratazione.

Le relazioni comportamentali tra gli individui sono mediate da messaggeri chimici, i semiochimici (che includono anche i feromoni). Si tratta di sostanze secrete e rilasciate nell'ambiente da alcuni individui di una specie che provocano modificazioni comportamentali e/o fisiologiche in individui della stessa specie o di altre specie. In funzione del tipo di risposta comportamentale o fisiologica i feromoni si possono classificare in: sessuali, di aggregazione, di allarme, di dispersione o epidittici, di reclutamento o traccianti, di maturazione ecc.

La capacità riproduttiva negli insetti ha componenti fisse, caratterizzate dalla loro biologia e componenti variabili, dipendenti dalle condizioni esterne. Nel primo caso, la riproduzione permetterà la distinzione in due grandi gruppi: insetti univoltini (che svolgono una sola generazione annuale) e multivoltini (con più generazioni l'anno). Per quanto riguarda gli insetti infestanti archivi, biblioteche e musei, si tratta per lo più di specie multivoltine, il cui numero di generazioni (e conseguentemente la loro durata) è una variabile influenzata dalla temperatura, dall'umidità, dalla quantità di cibo a disposizione, dalla diapausa ecc. Concluso lo sviluppo embrionale, la larva si accinge ad uscire dall'uovo e l'evoluzione successiva consta di vari stadi prima di raggiungere quello di adulto. In alcune specie le larve si differenziano dall'adulto solo per pochi caratteri morfologici, in altre invece subiscono complete metamorfosi con trasformazioni fisiologiche ed etologiche molto profonde. Il periodo larvale, in generale, è caratterizzato da un'intensa nutrizione e la resistenza a cause avverse di vita è notevole. Lo sviluppo postembrionale è regolato da elaborati peptidici, da neotenine (sesquiterpenoidi) e da ecdisoni (steroidi)[7].

Il ciclo biologico di un insetto può durare, secondo la specie, da pochi giorni a diversi anni e spesso è in stretta relazione con fattori ambientali microclimatici e nutrizionali. Tra i fattori climatici i valori termoigrometrici rivestono un ruolo determinante perché sono in grado di condizionare in larga misura la prolificità, caratteristica fisiologica delle singole specie. È facile quindi dedurre che se una specie ha una elevata capacità riproduttiva, maggiore sarà la probabilità di avere individui in grado di determinare problematiche e danni ai materiali. In genere le temperature favorevoli per lo sviluppo di questi animali sono comprese tra 20°C e 30°C mentre valori più alti o più bassi (inclusi sempre nei limiti compatibili con le attività vitali) possono accelerare o rallentare i loro tempi di crescita e di sviluppo e conseguentemente il numero di generazioni. Ogni specie presenta un *optimum* di temperatura in cui le prestazioni metaboliche e fisiologiche si manifestano al meglio.

L'umidità ambientale e dei substrati frequentati condiziona la velocità dello sviluppo embrionale e postembrionale degli insetti, la prolificità, l'inizio

dello sfarfallamento e l'induzione della diapausa (stato di quiescenza dovuto a fattori in cui ogni attività metabolica si riduce e consente all'individuo di superare indenne avverse condizioni climatiche e ambientali). Normalmente i valori di umidità relativa ottimali per gli insetti si attestano tra il 70% e il 90%, valori inferiori rallentano parzialmente l'attività di alcune specie di Isoptera, Psocottera e Blattodea. Anche per questo fattore esistono valori soglia minimi e massimi, in cui è compreso l'*optimum*, oltre i quali le condizioni diventano dannose o addirittura letali per gli organismi. L'acqua è dunque indispensabile per la sopravvivenza e l'approvvigionamento idrico può derivare dall'alimentazione (anche da substrati apparentemente disidratati), dal metabolismo, dall'ambiente o dal materiale che ospita l'organismo. A seconda della specie e dello stadio di sviluppo, possono essere sopportate perdite di acqua variabili tra il 25% e il 50% del contenuto totale.

Altro fattore ambientale da tenere in giusta considerazione è la luce, parametro in grado di influenzare notevolmente il comportamento degli insetti: vi sono infatti specie attive solo in pieno giorno, altre crepuscolari oppure notturne (come i noti "pesciolini d'argento", Lepismatidi – fig. 8.2) o totalmente lucifughe poiché adattatisi a vivere temporaneamente, stabilmente o ciclicamente in ambienti assolutamente bui (come gli scarafaggi)[8]. Anche la produzione di ormoni, in particolare dell'ecdisone che regola la muta, la metamorfosi, la deposizione delle uova ecc., dipendono dai rapporti relativi giornalieri dei periodi di luce e di buio (L:D, *light-dark*, fotoperiodo).

Il comportamento degli insetti è piuttosto complesso, benché le funzioni superiori del sistema nervoso siano anche decentrate in diversi gangli presenti nelle varie parti del corpo. Uno tra gli aspetti etologici più interessanti riguarda la vita degli insetti sociali i quali hanno sviluppato un sofisticato livello di gregarismo organizzato per caste e basato sulla costruzione di nidi complessi, la trasmissione di stimoli sensoriali, la cura della prole, la ricerca del cibo, la regolazione della riproduzione ecc. Tali fenomeni, complessivamente, determinano il successo ecologico della comunità sacrificando il singolo individuo. Tra gli esempi più noti di aggregazione sociale vi è quello rappresentato dagli Isoptera (le Termiti) che verranno trattati di seguito.

Alcuni insetti sono in grado di attaccare materiali di varia natura: cartacei, proteici e in alcuni casi persino le plastiche. I danni provocati sono irreversibili e le immagini perse a causa di erosioni, fori o per l'intensità degli imbrattamenti non possono essere recuperate o perlomeno solo parzialmente. In tali circostanze solo un intervento di restauro condotto da esperti può tentare di arginare gli effetti del deterioramento che hanno portato a un'alterazione del materiale originale[9]. La gravità dei danni è strettamente correlata all'entità dell'infestante, al suo stadio vitale, alla prolificità, alle condizioni ambientali e alla tipologia e stato di conservazione del bene esposto all'attacco entomologico.

Come accennato, possibili infestanti dei materiali fotografici sono anche i Roditori (il nome deriva dal verbo latino *rodere*), appartenenti alla numerosa famiglia dei Muridae (vedi fine § 8.2).



Fig. 8.2

Esemplare di lepismatide su trappola entomologica adesiva. Visibili le antenne filiformi e i cerci

8.2 Tipologie di danno

Tra gli insetti particolarmente dannosi ai beni conservati in archivi, biblioteche e musei[10], ivi comprese le fotografie, in ordine di importanza figurano i Thysanura (specie dannose: *Lepisma saccharina* e *Thermobia domestica*, ma segnalate anche alcune specie di *Ctenolepisma*) (figg. 8.3 e 8.4), atteri in tutti gli stadi della loro vita, dalle livree dai colori piuttosto uniformi (grigiastri o biancastri) talora iridescenti e con esoscheletro rivestito di squamette[11].



Fig. 8.3

Erosioni superficiali e profonde con asportazioni di parti di supporto (bordo in alto) determinate da lepismatidi su stampa alla gelatina, formato cartolina, degli anni Sessanta

Sono insetti ametaboli, ovvero sgusciano dall'uovo in una forma simile all'adulto (il loro ciclo di sviluppo si ha attraverso uovo, neanide, adulto). In natura vivono sotto pietre, foglie in decomposizione, tra muschi e rocce, in anfratti e interstizi di strutture ed edifici; essenzialmente vegetariani si nutrono di alghe, spore e ife fungine, licheni, detriti vegetali e anche dei resti di altri tisanuri e delle proprie numerosissime esuvie[12]. Si alimentano anche di manufatti contenenti cellulosa causando ai materiali cartacei, comprese le fotografie (arricchite di leganti quali gelatina e albumina), erosioni superficiali dai contorni irregolari che



Fig. 8.4

Erosioni da lepismatidi su stampa alla gelatina degli anni Trenta

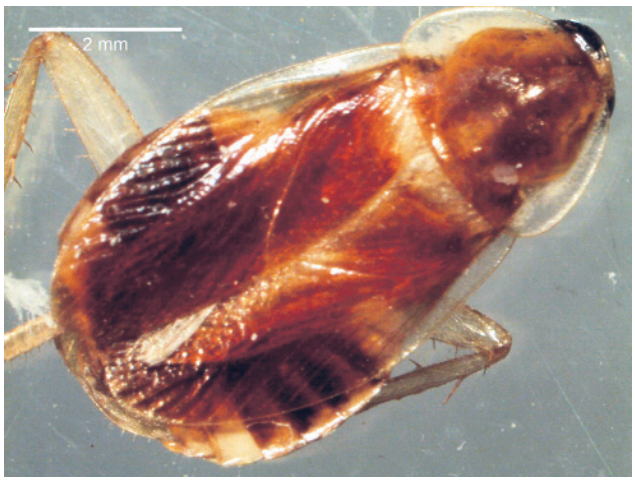


Fig. 8.5

Esemplare di *Blattella germanica*. Caratteristica di questi blattellidi sono le due bande scure allungate sul pronoto (primo segmento del torace)

possono partire dai bordi del manufatto o dal centro. Possono anche determinare perforazioni di una certa entità con danni spesso non trascurabili.

I Blattodea sono insetti di medie o grandi dimensioni dal corpo appiattito con livree di colori scuri e uniformi dal bruno al nerastro; hanno esoscheletro consistente, antenne lunghe e filiformi. Sgusciano dalle uova in forma simile all'adulto (il loro ciclo si completa attraverso gli stadi di uovo, neanide, ninfa e adulto) compiendo un certo numero di mute (da 6 a 10). Le uova sono raccolte all'interno di ooteche (utili a impedire il disseccamento e deterioramento degli embrioni) che la femmina porta con sé per diversi giorni o settimane e che colloca in luoghi adatti e nascosti. Terminata l'incubazione, le giovani neanidi si possono allontanare in gruppo dall'ooteca alla ricerca di cibo e di nascondigli.

Le blatte sono termofile, igrofile e lucifughe; generalmente rimangono nascoste e inattive nelle ore diurne mentre dopo il tramonto e poco prima dell'alba escono dai loro rifugi. Onnivore, si nutrono di una grande varietà di materiali organici compresi i resti di altri insetti.



Fig. 8.6

Esemplari di *Blaptica dubia* (maschio a sn e femmina a dx) utilizzati nelle sperimentazioni citate in nota bibliografica 13 (in alto)



Fig. 8.7

Colonia di esemplari (maschi, femmine e ninfe) di *Blaptica dubia* utilizzati nelle sperimentazioni (in basso)

In Italia le specie dannose di interesse, divenute domestiche, sono: *Blatta orientalis*, *Periplaneta americana*, *Blattella germanica* (fig. 8.5) e *Supella longipalpa*. Sono in grado di produrre erosioni dai contorni irregolari di notevole entità che spesso arrivano a perforare il supporto infestato e imbrattamenti (dovuti al rigurgito di cibo parzialmente digerito e alle feci) capaci di richiamare anche altri insetti e favorire sviluppi fungini e infezioni batteriche. Le tipologie di danno e la loro entità sono state verificate e analizzate, su diversi materiali fotografici, da studi condotti da Adamo e altri studiosi[13] (figg. 8.6–8.12).









Fig. 8.8

Erosioni e imbrattamenti da blatta su stampa all'albumina di fine Ottocento (in alto a sn)

Fig. 8.9

Erosioni da blatta su stampa alla gelatina degli anni Trenta (in alto a dx)

Fig. 8.10

Erosioni da blatta su stampa stereoscopica fotomeccanica di fine Ottocento (al centro)

Fig. 8.11

Erosioni sul bordo e tipici imbrattamenti da blatta su particolare di stampa alla gelatina (formato cartolina), colorita manualmente, degli anni Sessanta (a lato)

Fig. 8.12

Stampa *inkjet* del 2015, danneggiata da blatta, dove si notano oltre alle erosioni sul bordo in alto, anche alcune aree scolorite dovute alle deiezioni degli insetti



Insetti terrestri eterometaboli, spesso atteri, di piccole dimensioni, dall'esoscheletro poco consistente, con livree dal colore generalmente bruno chiaro o ialino, gli Psocoptera (fig. 8.13) detti anche Corrodenti comprendono come specie dannose: *Liposcelis bostrycophila*, *Liposcelis divinatorius* e *Trogium pulsatorium*. In natura vivono fra i detriti del terreno e come *habitat* più comuni hanno la vegetazione e i licheni. All'interno delle strutture costruite dall'uomo si trovano tra i detriti e la polvere e possono nutrirsi di microfunghi.

Molte specie appartenenti a questo Ordine sono state descritte solo negli ultimi anni. Generalmente causano danni di scarsa entità ai supporti cartacei quali piccole erosioni superficiali dai contorni irregolari, ma sono coinvolte in malanni allergici di tipo respiratorio.

Spesso gli Psocotteri (e gli acari) sono associati direttamente alla presenza di microfunghi[14] contribuendo alla dispersione insetto/acaro-mediata, ben documentata in ambienti naturali e che si verifica anche in ambienti *indoor*.

Fig. 8.13

Resti di esemplare di *Stegobium paniceum* vicino ad esemplare di Psocottero



Nell'ambito dei Coleoptera, olometaboli (sgusciano dall'uovo allo stato di larva, in forma completamente diversa dall'adulto da cui si distinguono per un complesso elevato di caratteri), che costituisce il più grande Ordine di tutti gli organismi viventi del Pianeta, vegetali compresi, si possono includere le famiglie Dermestidae e Anobiidae. Tra i dermestidi, di dimensioni modeste e dalle livree scure o ravvivate da gruppi di setole e squamette variopinte[15], le specie dannose più comuni sono: *Dermestes lardarius* (già da Houlbert nel 1903 annoverato tra gli insetti dannosi ai libri), *Anthrenus verbasci* e

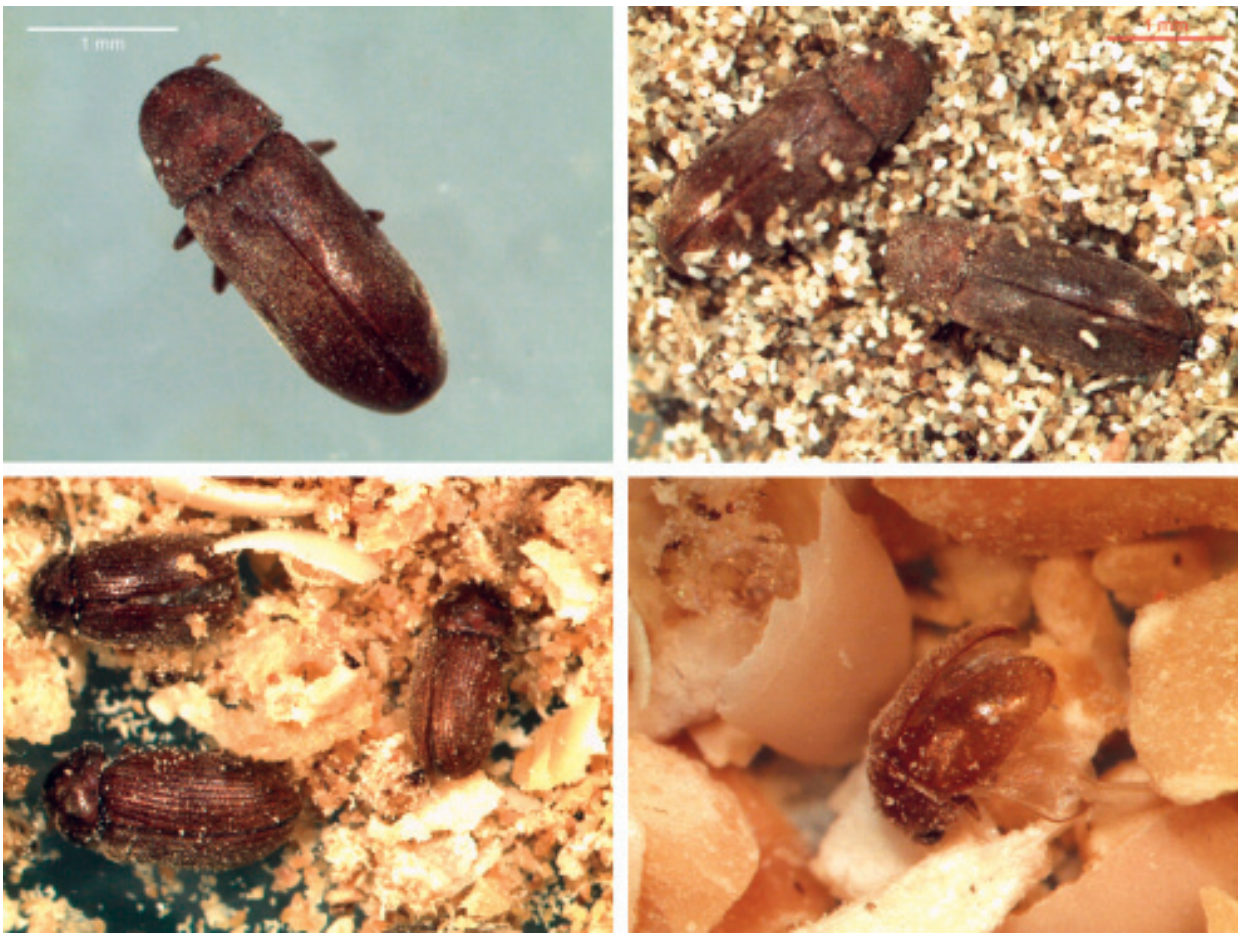


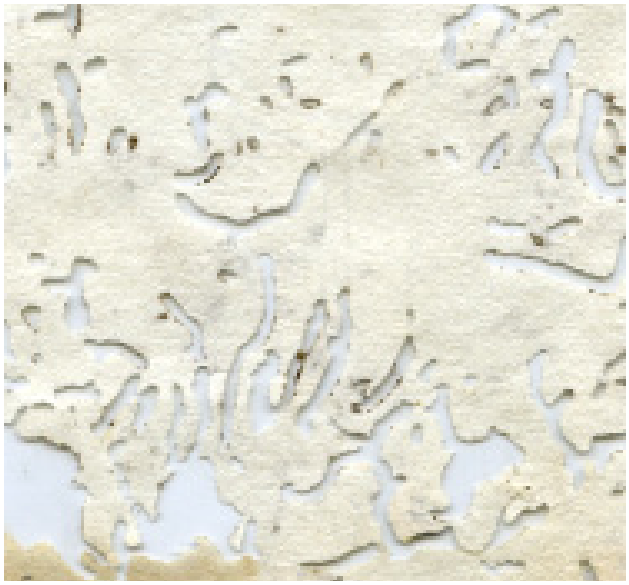
Fig. 8.14

Esemplari di diversi generi di Coleoptera Anobiidae. In alto a sn esemplare di *Gastrallus* sp. In alto a dx esemplari della stessa specie tra polvere di rosura. In basso a sn esemplari di *Stegobium paniceum* e di *Lasioderma serricorne* (in basso a dx) tra frammenti di materiale alimentare

Anthrenus museorum. Le loro larve sono allungate e ricoperte di fitte setole in genere riunite a ciuffi (fig. 8.14). Si nutrono di materiali secchi di origine animale o vegetale e sono in grado di determinare erosioni a volte profonde, piccoli fori e gallerie.

I Coleoptera Anobiidae (tra le specie dannose: *Anobium punctatum, Gastrallus pubens*, *Gibbium psylloides*, *Lasioderma serricorne*, *Stegobium paniceum, Ptinus fur*) (figg. 8.13 e 8.14) sono di piccola taglia, con capo minuto, protorace convesso e ampio; le elitre ricoprono totalmente l'addome. Gli xilofagi producono fori e gallerie di varie forme e dimensioni. La maggior parte dei danni ai materiali è causata dall'attività delle larve. Le gallerie degli Anobidi (piene di rosume, generalmente granuloso e incoerente) hanno un percorso irregolare (figg. 8.15 e 8.15a) e un diametro maggiore man mano che la larva cresce e aumenta di dimensioni. I fogli corrosi risultano generalmente attaccati fra di loro per l'azione cementatrice dei minuscoli detriti di carta impastati con le secrezioni delle ghiandole salivari della larva. Quando raggiunge la maturità la larva allarga ancora la galleria e la riveste di particelle di rosume, costruendosi la camera pupale per la trasformazione in pupa. Una volta completato lo sviluppo, l'adulto pratica un foro e sfarfalla verso l'esterno.

Nel caso di volumi cartacei l'attacco inizia in particolar modo dalle legature e dal dorso, a causa delle colle utilizzate, per procedere poi verso l'interno. Nei materiali lignei, se i fori di sfarfallamento comunicano con le gallerie larvali, è possibile anche la fuoriuscita di rosume. Quando l'infestazione è invece nella fase iniziale, le gallerie scavate dalle larve neonate, oltre ad avere una sezione ridotta, sono generalmente chiuse dai resti dei gusci delle uova





Figg. 8.15, 8.15a

Foglio danneggiato da larve di anobidi con numerose lacune dovute alle gallerie (fig. 8.15). Nell'ingrandimento a destra (fig. 8.15a) è possibile visualizzare il tipico percorso tortuoso e irregolare delle gallerie

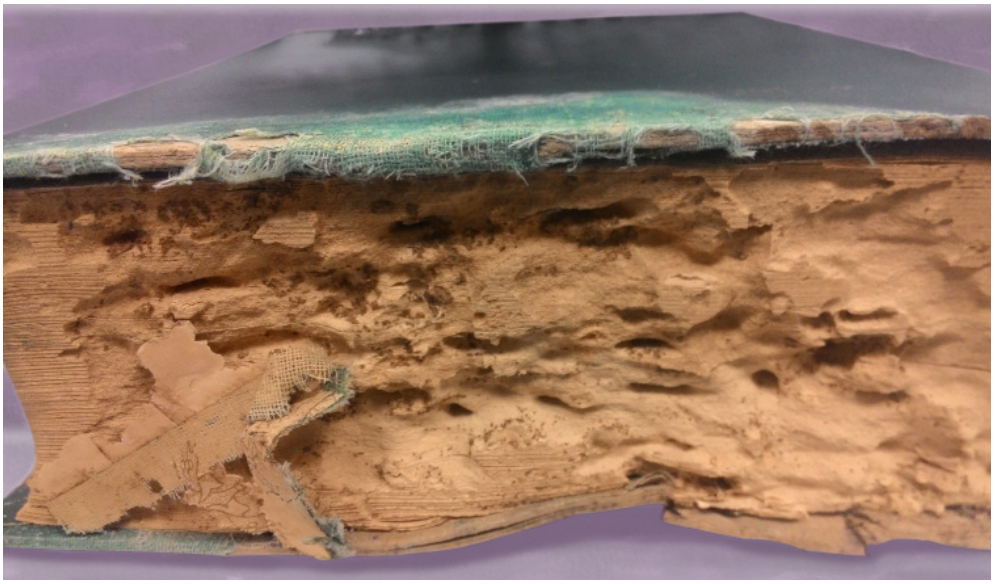
per cui è impossibile la fuoriuscita di alcun materiale. Nell'ambito delle specie citate, *Stegobium paniceum*, cosmopolita, molto comune in tutta Italia, è annoverato tra quelle più nocive per i documenti cartacei, le piante essiccate in erbari e le derrate alimentari. Le larve possono sopravvivere in condizioni di bassa umidità ambientale resistendo ad ambienti anche molto sfavorevoli. *Stegobium paniceum* insieme a *Lasioderma serricorne* sono anche tra i più frequenti e dannosi infestanti delle derrate alimentari.

Infine si fa riferimento agli Isoptera (fig. 8.16) (tra le specie pericolose figurano: *Kalotermes flavicollis*, *Reticulitermes lucifugus* e *Cryptotermes brevis*), insetti sociali dal complesso livello di gregarismo organizzato per caste, a metamorfosi incompleta e con un esoscheletro poco consistente normalmente di colore chiaro. Le termiti possono essere alate o attere più raramente brachittere, provviste di antenne sottili e occhi ridotti. Hanno un apparato boccale masticatore e digeriscono quasi unicamente grazie all'azione di Protozoi Flagellati simbionti, contenuti nell'intestino posteriore. Causano in tempi brevissimi danni irreparabili quali: fori profondi a forma di cratere, erosioni di fattura irregolare ed incrostazioni melmose sui materiali (figg. 8.17 e 8.17b), il più delle volte non rilevabili dall'esterno. Sovente, infatti, il deterioramento prodotto da questi insetti prevalentemente lucifughi, che si spostano all'interno degli oggetti o attraverso condutture o percorsi nascosti, viene evidenziato con notevole ritardo. In Italia si riscontrano due entità autoctone (con origine nel medesimo areale in cui si trovano) *Kalotermes flavicollis* (famiglia Kalotermitidae) e *Reticulitermes lucifugus* (famiglia Rhinotermitidae) mentre *Cryptotermes brevis* (famiglia Kalotermitidae), originaria dell'India occidentale, è una specie involontariamente introdotta segnalata in Italia centrale e anche settentrionale[16].

Fig. 8.16

Esemplare di alato di termite. Si possono notare le ali membranose









Figg. 8.17, 8.17a, 8.17b

Volume (fig. 8.17) all'apparenza integro che dopo la sua rimozione dall'alloggiamento ha evidenziato nel taglio inferiore il grave danno dovuto all'insediamento di termiti. Si possono notare nelle immagini ingrandite (figg. 8.17a, al centro e 8.17b, in basso) le concrezioni determinate dalle termiti con escrementi, terriccio e saliva e le profonde erosioni che hanno determinato mancanze di gran parte di materiale

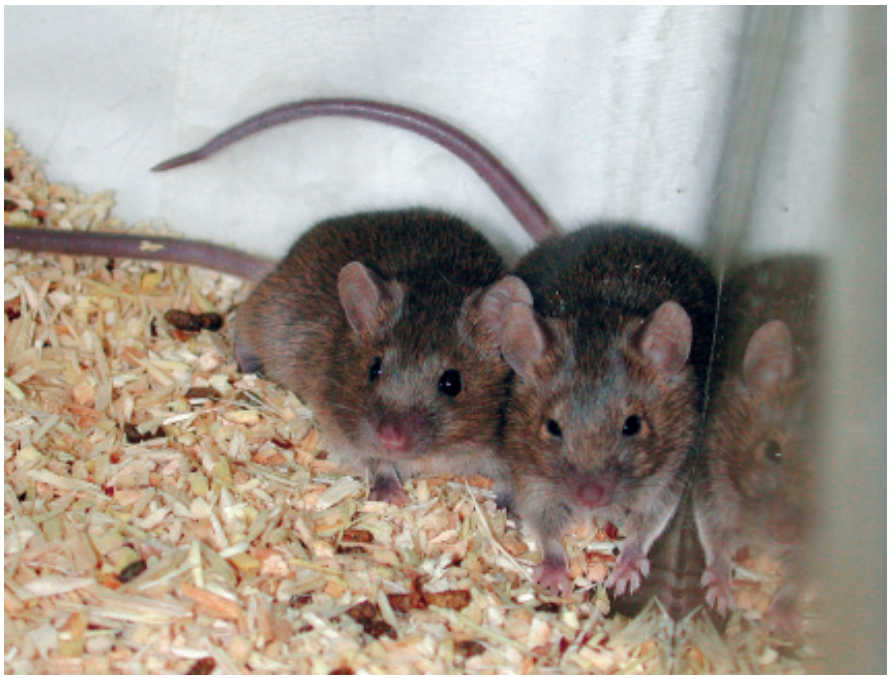


Fig. 8.18

Esemplari di *Mus musculus*

Rilevata nel nord est del Paese vi è anche *Reticulitermes urbis*[17]. Le termiti lucifughe costruiscono camminamenti su muri e supporti di altro genere a perfetta tenuta di luce con un impasto di saliva, terriccio ed escrementi per garantirsi un ambiente sicuro durante il percorso dalle colonie sotterranee alle fonti di cibo.

Per quanto riguarda i Roditori l'utilizzo di materiale cartaceo per la costruzione del nido fa di questi mammiferi dei pericolosissimi deteriogeni (tra le specie dannose abbiamo: *Mus musculus* – fig. 8.18, *Rattus norvegicus* e *Rattus rattus*). Il principale danneggiamento è dovuto all'erosione, infatti, a causa della peculiare necessità di affilare i denti incisivi dalla crescita continua (sono ricoperti di smalto solo sulla parte anteriore del dente dalla forma a punta di scalpello), manifestano la tendenza ad erodere substrati di vario tipo.

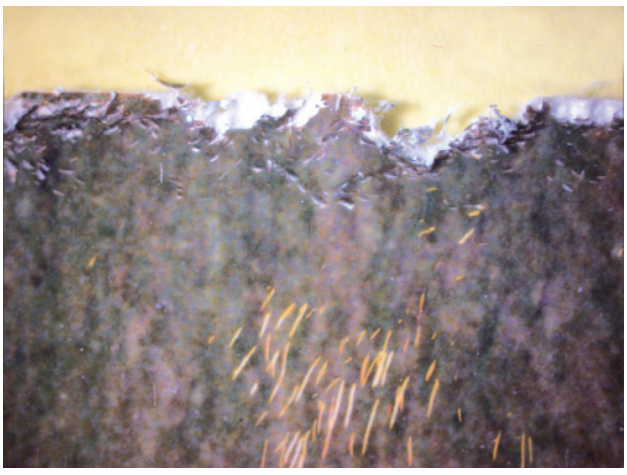
La loro presenza negli ambienti di conservazione è generalmente determinata da inadeguatezza nelle strutture e da scarse condizioni igieniche. I danni prodotti, come quelli mostrati che vengono mostrati nelle figure 8.19 e 8.19a, possono consistere nella rapida distruzione dei vari supporti soprattutto cartacei e nella contaminazione dei beni con feci e urine. I segni più evidenti della presenza di roditori sono proprio gli escrementi e le erosioni prodotte, le tracce di untuosità lasciate in prossimità di muri e porte, derivanti dallo sfregamento del pelo degli individui in transito, nonché gli accumuli di vari materiali nei luoghi dove si rifugiano, utilizzati, come sopra accennato, per la costruzione di nidi.

Per maggiori informazioni su questo argomento si rimanda ai testi citati in bibliografia[18].

Figg. 8.19, 8.19a

Particolare di fotografia a colori (fig. 8.19, in basso a sn) con danni da *Mus musculus*. Ingrandimento allo stereomicroscopio (fig. 8.19a, in basso a dx) che evidenzia le erosioni causate dai denti del roditore sul bordo della stampa e i graffi prodotti dalle unghie





8.3 Difesa integrata dagli infestanti: un approccio sostenibile

L'esperienza maturata in questi ultimi anni (monitorare e contrastare gli organismi indesiderati, controllare ed eventualmente modificare le condizioni ambientali dei locali di conservazione ecc.), l'attenzione sempre maggiore rivolta alla salute degli operatori del settore e al rispetto per l'ambiente, hanno contribuito alla messa a punto di programmi di gestione integrata degli infestanti, specifici anche per la tutela dei beni culturali.

La regola base di questo nuovo approccio biosostenibile è ridurre al minimo l'uso di sostanze chimiche di sintesi per contenere le infestazioni da animali indesiderati. La forma di lotta generalmente più utilizzata contro i parassiti – *pests* (essenzialmente artropodi e roditori) è, infatti, costituita dall'impiego dei biocidi, sostanze inorganiche o organiche ricavate dalla natura oppure sintetizzate in laboratorio, in grado di esplicare azioni tossiche incompatibili con la vita degli organismi bersaglio (vedi Capitolo 10). Considerati prodotti velenosi, i biocidi sono soggetti a normative sempre più severe e stringenti poiché un loro impiego eccessivo e indiscriminato potrebbe rappresentare un considerevole rischio per la salute dell'uomo (effetti negativi a carico del sistema neurologico, respiratorio, immunitario ed endocrino), per l'ambiente e per il futuro stesso del bene interessato al trattamento. Essendo i biocidi di solito a base di soluzioni oleose, interagiscono chimicamente con tutti i supporti cartacei, con le materie plastiche e, in generale, possono causare indebolimento e ingiallimento della carta, scolorimento di alcuni coloranti, rammollimento di resine e nitrati di cellulosa, ossidazione di eventuali metalli[19], nonché corrosioni, solubilizzazioni e anche permanenza di odori sgradevoli[20].

Non di secondaria importanza è la potenziale capacità che gli organismi dannosi hanno nello sviluppare forme di resistenza alle sostanze tossiche tanto che, in alcuni casi, si arriva all'impossibilità di controllare una data specie infestante. Tali problematiche hanno portato allo sviluppo e alla definizione dei principi generali e pratici che sono alla base della strategia della gestione integrata degli infestanti – *Integrated Pest Management* (IPM), concetto importato dal settore agro-alimentare dove fu inizialmente adottato (negli anni Cinquanta) per descrivere lo sviluppo e l'applicazione di metodi non basati sull'uso sistematico di prodotti biocidi al fine di contenere le infestazioni da artropodi e roditori di prodotti agricoli e derrate alimentari.

Negli anni Quaranta, infatti, con l'introduzione dei pesticidi sintetici, l'intero scenario della gestione dei *pests* è cambiato e la dipendenza da questi prodotti ha posto la seria problematica della resistenza degli infestanti ai pesticidi. Le proprietà insetticide del para-diclorodifeniltricloroetano, noto comunemente come DDT (usato soprattutto per debellare la malaria), scoperte dal chimico svizzero Paul Hermann Müller (J.R. Geigy Co.) nel 1939, scatenarono l'"era oscura" del *pest control*. La non sostenibilità dei pesticidi fu evidente dalla fine degli anni Cinquanta, poiché la completa dipendenza dalla gestione intensiva con prodotti chimici dei parassiti stava portando l'agricoltura ad un uso indiscriminato quanto pericoloso. Così si sviluppò l'idea di gestione integrata dei parassiti (IPM) in risposta a due importanti fattori: lo sviluppo della resistenza agli insetticidi e la distruzione dei nemici naturali da parte di pesticidi mirati agli insetti nocivi bersaglio. Gli entomologi americani coniarono allora il concetto di "controllo supervisionato", che implicava la supervisione da parte di esperti qualificati. Un decennio dopo tale concetto subì una evoluzione e fu proposto quello di "controllo integrato" basato su

principi di soglia economica[21].

Con la pubblicazione del testo "Integrated Pest Management"[22], nel 1972, il concetto fu accettato ufficialmente dalla comunità scientifica e negli anni Ottanta applicato in numerosi musei (principalmente in UK, USA, Canada e Australia). Esso esprime un approccio multidisciplinare, multifunzionale ed eco-sostenibile in continua evoluzione ove tutte le tecnologie appropriate e le tecniche di gestione, che si completano a vicenda in modo integrato e sinergico, sono utilizzate armonicamente al fine di eliminare e/o ridurre gli infestanti, minimizzando i rischi per la salute, l'ambiente e per i beni.

Un programma di IPM non deve essere considerato quindi come un rigido contenitore di regole e procedure, bensì come un processo in continua evoluzione perché deve adattarsi, di volta in volta, alle priorità e alle necessità emergenti da situazioni in continuo divenire. Inoltre, per essere pratico, perseguibile e ben pianificato, deve includere anche gli aspetti di tipo economico e sociale in considerazione del fatto che una strategia di prevenzione ben attuata è in grado di determinare una marcata riduzione delle eventuali operazioni di restauro e dei relativi costi per gli onerosi interventi, consentendo una migliore gestione delle risorse economiche.

Le continue valutazioni periodiche delle procedure applicate, dei metodi utilizzati e dei dati ricavati nelle molteplici fasi del programma di IPM, assicureranno certamente risultati migliori e più duraturi nel tempo a costi inferiori rispetto a quelli conseguibili mediante il solo impiego di sostanze chimiche utilizzate su larga scala (*Pest Control*). Anche se, in caso di grandi collezioni, la messa a punto dell'IPM può richiedere diversi anni, poiché generalmente è consigliabile validare la strategia prima su una parte limitata della collezione, dimostrarne l'efficacia e poi procedere nelle varie aree fino al completamento delle parti [23].

Come tutti i programmi anche l'IPM comprende diversi aspetti, sia positivi sia negativi, che vengono sintetizzati nella tabella 8.1.

Tabella 8.1 – Vantaggi e svantaggi del programma IPM.

VANTAGGI PROGRAMMA IPM	1. Riduzione dei trattamenti chimici con conseguente diminuzione del rischio biologico (salute umana e ambiente) e del deterioramento o del danno estetico dei beni trattati. 2. Miglioramento delle condizioni ambientali e strutturali dei locali di conservazione, che faciliterà il controllo degli infestanti a medio e lungo termine. 3. Possibilità di individuare immediatamente le aree più suscettibili agli attacchi degli infestanti e contestualmente ottenere informazioni precise sulle caratteristiche quali-quantitative delle specie indesiderate. 4. Possibilità di rappresentare, in alcuni casi, l'unica soluzione laddove l'approccio chimico non riesca a contenere le infestazioni. 5. Opportunità, evitando il deterioramento dei beni, di risparmiare le risorse economiche destinate al restauro degli oggetti.
SVANTAGGI PROGRAMMA IPM	1. Richiesta iniziale di impegni maggiori in termini di risorse umane ed economiche rispetto alle tecniche di *Pest Control* tradizionali. 2. Richiesta di maggiori sforzi di coordinamento e riorganizzazione fra tutto il personale che dovrà periodicamente essere formato con specifici corsi di aggiornamento.

A livello europeo la norma UNI EN 16636:2015[24] può costituire un riferimento per tutti gli operatori del settore specificando i requisiti per la gestione e il controllo delle infestazioni, insieme alla EN 16790:2016[25], frutto del gruppo di lavoro 6 del CEN/C 346 – Conservation of Cultural Heritage. La norma del 2016 definisce la gestione integrata dei *pests* – IPM (parte integrante della gestione del rischio – *Risk Management*, definita dalla ISO 31000 aggiornata nel 2018 – vedi Capitolo 13), scrivendo una metodologia completa delle problematiche da affrontare a tutela del patrimonio culturale, uno standard di gestione per musei, archivi, biblioteche ecc.

Per agire a scopo preventivo e conservativo l'IPM, oltre a basarsi sulla gestione degli infestanti, deve essere imperniato anche sullo sviluppo e sull'applicazione di procedure e protocolli inerenti la gestione/manutenzione delle strutture ospitanti i beni, che siano compatibili con le differenti tipologie di manufatti custoditi e con le varie attività svolte negli ambienti di conservazione.

Perché si riveli efficiente deve basarsi su determinati passaggi chiave che possono essere così sintetizzati:

- evitare la presenza di organismi nocivi – *pests*, mediante monitoraggi ambientali e strutturali (interni ed esterni);
- identificare gli organismi *pests* collegandoli ai possibili danni riscontrati;
- identificare i materiali più a rischio di danno (in particolar modo quelli con supporto cartaceo e quelli con leganti proteici quali albumina e gelatina);
- riconoscere e identificare le problematiche e le rispettive priorità;
- pianificare le opportune strategie di lotta;
- valutare periodicamente l'efficacia delle strategie adottate ed eventualmente apportare le adeguate modifiche;
- registrare tutte le operazioni svolte;
- identificare le esigenze di formazione/sensibilizzazione. Individuare quindi le figure professionali da coinvolgere e provvedere ad una loro appropriata formazione. Importante è la conoscenza della composizione materica dei beni conservati anche in base al riconoscimento delle varie tecniche utilizzate nel corso della storia nonché degli infestanti e del loro ciclo biologico, dei biocidi e delle loro possibili interazioni con i beni.

Poiché ogni passaggio chiave può prevedere ulteriori fasi operative, il numero delle azioni da compiere e da svolgere in sequenza aumenta considerevolmente. Per agevolare l'esecuzione di tutte le attività programmate può risultare utile predisporre, e quindi compilare al momento opportuno, delle *Check-List* ossia dei moduli/questionari che prevedano una serie di controlli e le rispettive eventuali azioni correttive da intraprendere. Dovendo raccogliere moltissime informazioni di vario genere, una compilazione accurata e dettagliata delle *Check-List* può essere eseguita solo con il coinvolgimento delle diverse figure professionali che, a vario titolo, lavorano nell'ambito della conservazione. Con tali liste è possibile completare correttamente attività che richiedono attenzione e precisione e che si ripetono frequentemente nel tempo, costituendo in pratica lo strumento di verifica di un processo.

Momenti fondamentali nell'ambito di un programma di conservazione preventiva sono le ispezioni e i monitoraggi. Per facilitare e ottemperare a tutte le azioni da intraprendere allo scopo, potrebbe essere vantaggioso anche in

questo caso predisporre schede specifiche, redatte per annotare sinteticamente le informazioni principali relative all'ambiente *indoor*. La possibilità di confrontare i dati raccolti con quelli derivanti da ispezioni successive può risultare utile al fine di programmare interventi mirati di manutenzione e/o di risanamento ambientale. Allo stesso modo, per semplificare la raccolta delle informazioni relative ai monitoraggi e ai campionamenti entomologici, è consigliabile annotare i dati inerenti i dispositivi utilizzati, la loro ubicazione nell'ambiente, il numero di catture e di specie degli organismi intrappolati in funzione del tempo, in moduli redatti *ad hoc.*

Moduli simili possono essere ideati ed elaborati secondo le necessità emergenti in ogni fase lavorativa.

8.4 Gestione delle strutture ambientali

L'individuazione delle potenziali situazioni di rischio, connesse allo studio delle interazioni tra ambiente conservativo ed eventuali cause di danno, permettono di prevenire/limitare/eliminare i possibili danni ai beni custoditi.

Il rischio (vedi Capitolo 13) può essere definito come la combinazione dei fattori di probabilità che un evento negativo si possa verificare e la dimensione del danno causato. Ai fini della prevenzione, quindi, un'attenta analisi circostanziata di tutti gli elementi correlabili alle caratteristiche dell'ambiente di conservazione, sulla base della specifica vulnerabilità dei beni, può fornire indicazioni circa la concreta possibilità di accadimento del danno e l'eventuale livello di gravità. Essendoci una connessione diretta tra problematiche rilevate e probabilità che il danno avvenga, in assenza di controlli è doveroso supporre un livello altissimo di rischio. Valutare la situazione in tutti i suoi aspetti generali e non agire in maniera univoca al verificarsi del singolo evento, costituisce l'approccio identificativo di un programma di gestione integrata.

Fase iniziale quindi di un programma di IPM è l'accurata ispezione di tutte le strutture dell'edificio ospitante, degli spazi interni ed esterni, dei sistemi impiantistici, degli apparati decorativi e delle condizioni microclimatiche. Dal punto di vista pratico è dunque fondamentale l'organizzazione e la pianificazione oltre che dei monitoraggi ambientali anche di quelli strutturali (interni ed esterni)[26] in modo da individuare tempestivamente le criticità per mettere in atto le opportune soluzioni tecniche. I dati raccolti costituiranno un supporto fondamentale sia per identificare le zone a maggiore rischio – *risk zones*, sia per programmare nel tempo le azioni di risanamento da compiere secondo le priorità individuate. Di valido aiuto può essere il concetto di "Zona di Rischio"[27], basato sul principio di valutazione che a ogni area di un locale di conservazione deve essere assegnato un valore di rischio. Al valore di vulnerabilità delle collezioni è associato poi un colore, ad esempio:

- molto alto → rosso;
- alto → arancione;
- basso → giallo;
- molto basso → verde.

Tale approccio è stato utilizzato con successo come base dei programmi di IPM in diversi musei del Regno Unito, come il Natural History Museum (NHM) di Londra il primo ad averlo introdotto[28].

Purtroppo la realtà italiana, ma non solo, è complicata dal fatto che molto spesso le collezioni e gli archivi sono collocati in edifici storici cui mancano i

requisiti strutturali richiesti (art. 6 del D.Lgs 22 gennaio 2004, n. 42, "Codice dei beni culturali e del paesaggio") e a volte tali sedi possono essere soggette a vincoli artistici che non ne consentono la riqualificazione.

Laddove non si disponga di un edificio o locale *ad hoc*, è necessario risanare l'ambiente preesistente mediante interventi atti a eliminare ogni carenza strutturale che nel tempo potrebbe comportare un rischio per i materiali conservati. Ad esempio, se l'ispezione rileva la presenza di superfici murarie degradate (con fessure, crepe o interstizi vari), sia interne sia esterne (incluso i tetti che possono fornire cavità o punti di appoggio e/o entrata per artropodi e roditori), esse andranno subito restaurate. Allo stesso modo se vengono evidenziati malfunzionamenti nella chiusura ermetica di porte e/o finestre o altri accessi (consigliabili griglie protettive a maglia fitta), è necessario provvedere immediatamente per evitare l'ingresso di infestanti e di inquinanti atmosferici (vedi Capitoli 6 e 7). Quindi elemento chiave per lo sviluppo di una strategia IPM è l'adozione di procedure utili a impedire, o contenere, l'ingresso degli organismi *pests* negli ambienti conservativi. Allo scopo risulta quindi valido mettere in pratica una semplice serie di accorgimenti di esclusione quali l'utilizzo di griglie alle feritoie di ventilatori o alle prese d'aria in genere, di zanzariere alle finestre, di strisce di gomma per chiudere lo spazio alla base di porte e finestre. Inoltre è opportuno sigillare ogni foro, fessura o interstizio nei pavimenti e nei muri che possa costituire un rifugio o un punto d'ingresso per insetti e roditori.

Con specifico riferimento alla fauna entomologica dannosa ai beni culturali, il controllo delle condizioni microclimatiche dell'ambiente di conservazione costituisce uno dei punti cardine di un programma di IPM; infatti, è ormai noto che i principali fattori ambientali caratterizzanti un locale (temperatura, umidità relativa, illuminazione, correnti d'aria) e la natura chimico/fisica dei substrati possono essere in grado di influenzare il numero di generazioni e la moltiplicazione degli infestanti eventualmente presenti. Anche la relazione con altri organismi, così come la densità intraspecifica e le risorse trofiche, potendo determinare la sopravvivenza o meno di una data specie, dovranno essere tenute sotto attenta osservazione.

In particolare la temperatura ambientale, come già evidenziato, è probabilmente il fattore più importante perché in grado di accelerare o rallentare i tempi di realizzazione del ciclo biologico e quindi il numero delle generazioni di un infestante. Allo stesso modo l'umidità è capace di influenzare sviluppo, ciclo riproduttivo, sfarfallamento e diapausa degli artropodi. Temperatura e umidità sono, come noto, strettamente correlate e le varie combinazioni influiscono in modo particolare sul metabolismo degli insetti; in termini generali si può affermare che alte temperature (sotto la soglia critica di 40°C) associate ad alti livelli di umidità relativa accelerano il ciclo vitale favorendone lo sviluppo e la riproduzione. La luce è un altro fattore fisico cui gli insetti sono molto sensibili; vi sono, infatti, specie attive in pieno giorno, altre crepuscolari e notturne, altre ancora lucifughe[29].

A priori andrebbero evitati locali non coibentati, seminterrati o interrati perché spesso caratterizzati da alti valori di umidità relativa e soggetti ad allagamenti o a risalite capillari di umidità favorendo lo sviluppo di microfunghi e di infestanti. Similmente i sottotetti, in genere non coibentati sufficientemente e difficilmente climatizzabili, non sono idonei per la conservazione proprio per il verificarsi di elevate escursioni termiche e per possibili infiltrazioni di acqua piovana.

Considerata l'evidente influenza dei parametri termoigrometrici sui cicli

biologici dell'artropodofauna, è opportuno provvedere tempestivamente a un risanamento ambientale qualora si evidenziassero tracce di umidità sui muri esterni dell'edificio o all'interno della struttura stessa nelle vicinanze di tubazioni, finestre, soffitti, impianti di condizionamento e/o riscaldamento.

La condizione di equilibrio termodinamico dell'ambiente può essere controllata in maniera adeguata mediante l'utilizzo di sistemi di condizionamento passivo e, ove non fosse possibile, si può ricorrere all'impiego di impianti di climatizzazione provvisti di filtri ad alta efficienza (HEPA, ULPA ecc. – vedi Capitolo 7) per evitare il passaggio di inquinanti aerodispersi. Tali attrezzature sono progettate per mantenere costanti i valori termoigrometrici adeguati alle varie tipologie di beni da conservare. La caratterizzazione ambientale comprende anche la rilevazione di altri parametri fisici (velocità dell'aria e irraggiamento termico naturale o artificiale) e degli inquinanti (di tipo fisico, chimico e biologico).

Per quanto concerne i riferimenti legislativi si rimanda alle norme UNI 10829:1999[30] e UNI EN 15757: 2010[31] che stabiliscono le linee guida per il monitoraggio delle variabili microclimatiche ai fini conservativi. Per notizie più dettagliate sul monitoraggio di tali variabili si rimanda al Capitolo 4.

Un programma di IPM non può avere successo se non vengono assicurate alcune azioni fondamentali quali: una accurata e sistematica igienizzazione dei locali mediante scrupolose pulizie, depolverature e allontanamento di materiali igroscopici in grado di trattenere la polvere, nonché di ogni residuo organico che possa fornire ulteriori sorgenti di nutrimento agli infestanti. La polvere e i detriti vari, infatti, oltre a costituire una fonte trofica e di rifugio per alcuni organismi ospiti indesiderati, possono favorire anche lo sviluppo di microfunghi che richiamano a loro volta altri biodeteriogeni. Le operazioni di depolveratura su arredi e contenitori dovrebbero essere eseguite con scadenza periodica da personale qualificato, secondo protocolli stabiliti, utilizzando apparecchiature dotate di filtri HEPA, da controllare e sostituire all'occorrenza per limitare la dispersione della polvere in ambiente. Inoltre è importante evitare l'accatastamento di materiali o arredi non più in uso, anche in locali marginali, trascuratezza che impedisce sia le normali attività di pulizia sia quelle di ispezione.

Per l'igienizzazione dei locali si dovranno usare panni antistatici e prodotti detergenti (Regolamento – CE n. 648/2004 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 31 marzo 2004, relativo ai detergenti). In caso di utilizzo di prodotti disinfettanti, identificabili come Presidi Medico Chirurgici (PMC), si deve far riferimento a quelli autorizzati tenendo in considerazione che essi non devono interagire con i beni conservati.

In merito, nel corso della pandemia COVID-19 (vedi Capitolo 14) in numerose istituzioni di tutto il mondo si è evidenziato il problema di quali detergenti e disinfettanti dovessero essere utilizzati nei locali conservativi dei beni per una sanificazione. Diverse indicazioni di carattere generale sono state fornite dall'Istituto Superiore di Sanità[32], indicazioni che hanno costituito la base per poter redigere orientamenti in merito. Infatti, anche per il patrimonio archivistico e librario del nostro Paese, sono state redatte linee guida[33] *ad hoc* che hanno preso in considerazione le problematiche relative all'emergenza sanitaria. Per la sanificazione dei luoghi di conservazione si è consigliato l'utilizzo di soluzioni idroalcoliche ed esattamente per le superfici dei vari arredi (anche metalliche o in vetro) è stato indicato l'etanolo al 70% (400 ml di alcol etilico denaturato a 90 gradi da miscelare con 100 ml di acqua). I cloroderivati, invece, sono stati esclusi in quanto ossidanti e quindi pericolosi per vari manufatti.

8.5 Monitoraggio degli infestanti

Le azioni da compiere nell'IPM sono progettate in successione e/o in complementarietà, è buona regola, quindi, affiancare alle ispezioni generali delle strutture interne ed esterne degli edifici adibiti alla conservazione, ispezioni specifiche mirate al rinvenimento tempestivo dei danni e/o della presenza o meno di infestanti. Le attività ispettive si configurano, pertanto, quali indicatori dell'attività dei *pests.*

Valutazione della presenza di infestanti Con attenti e scrupolosi sopralluoghi è possibile rilevare esemplari vivi o morti e/o loro tracce (esuvie, escrementi, polvere di rosura, camminamenti – figg. 8.20–8.23) e verificare contestualmente l'efficacia degli interventi preventivi di gestione impiegati ed eventualmente ottimizzarne l'efficienza. Le perlustrazioni vanno estese, oltre ai locali deputati alla conservazione, anche alle zone limitrofe, alle aree adibite a stoccaggio di materiali diversi dai beni e, in generale, a tutti gli ambienti marginali poco frequentati e a tutte quelle zone che apparentemente non sembrano di particolare interesse. In caso di nuove acquisizioni o restituzioni (prestiti) è buona norma esaminare accuratamente tutto il materiale in entrata predisponendo apposite aree-quarantena ove alloggiare temporaneamente i beni e, qualora si evidenziassero segni e tracce della presenza di insetti, è necessario sigillare il materiale infestato all'interno di buste di plastica in attesa degli opportuni interventi da effettuare. Inoltre risulta fondamentale avere una speciale attenzione per gli oggetti posti nelle vicinanze

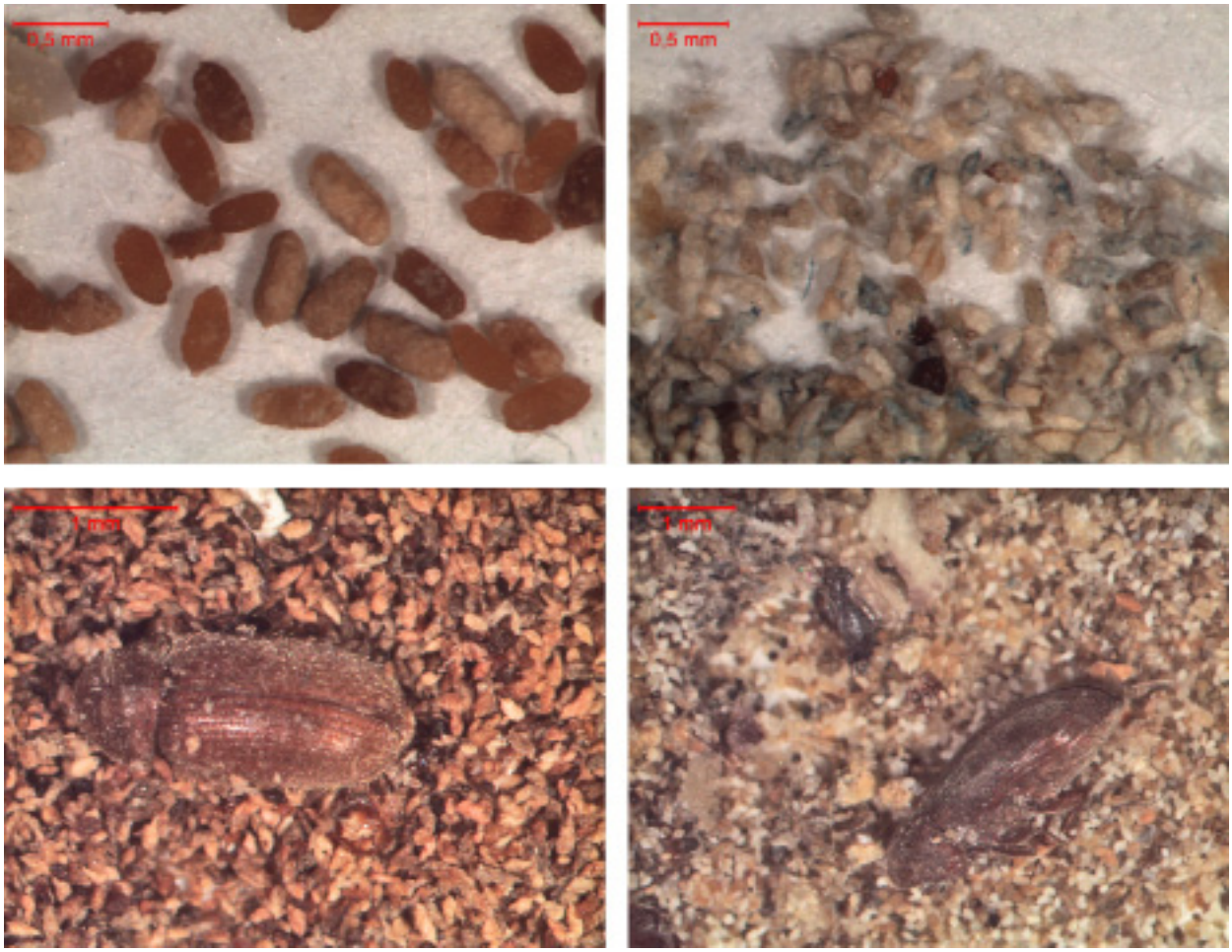
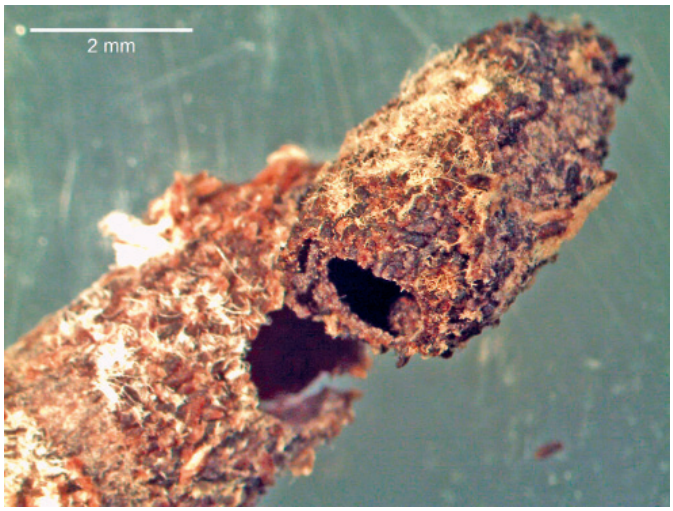


Fig. 8.20

Ingrandimenti allo stereomicroscopio di resti e rosume di *Oligomerus ptilinoides* (in alto a sn), di *Anthrenus* sp. (in alto a dx), di *Stegobium paniceum* (in basso a sn) e di *Gastrallus* sp. (in basso a dx)



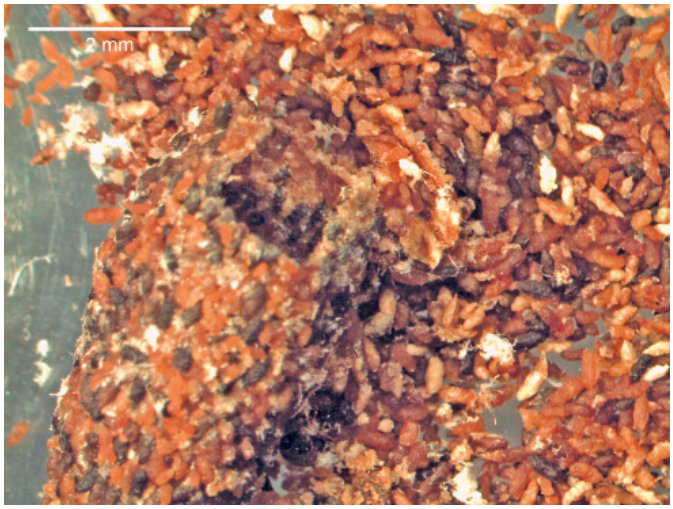


Fig. 8.21

Ingrandimento allo stereomicroscopio di involucro pupale (dove la larva a maturità si trasforma in pupa) di anobidi

Fig. 8.22

Ingrandimento allo stereomicroscopio di involucro pupale di anobidi

del focolaio.

Le attività di monitoraggio comprendono anche l'utilizzo di trappole che, se disposte in maniera opportuna, rappresentano il metodo più idoneo per il controllo in continuo degli infestanti. La lettura periodica di tali dispositivi fornisce dati qualitativi e quantitativi riguardanti la presenza di eventuali ospiti indesiderati. Mediante una rete di trappole, disposte nei luoghi critici, è possibile risalire all'identità degli infestanti e seguire le loro attività nel tempo, arrivando a conoscerne anche la distribuzione spaziale e l'entità delle popolazioni. A riguardo si sottolinea che una buona conoscenza della biologia di artropodi/roditori e del loro comportamento risulta fondamentale nel posizionamento dei vari dispositivi e nella interpretazione delle catture.

Un monitoraggio entomologico dovrebbe prevedere le seguenti fasi:

1) durata dell'indagine di almeno un anno;

2) posizionamento di un numero adeguato di trappole. Più dispositivi vengono posizionati, maggiore è la possibilità di catturare le varie specie infestanti e quindi più numerose saranno le informazioni acquisite;

3) rilevamento regolare delle catture. Importante è intensificare le letture durante il periodo primaverile-estivo;

4) rimozione degli artropodi occasionali (non *pests*) catturati, fonte attrattiva per altre specie, e sostituzione delle trappole in caso di elevate catture o perché la superficie collante non espleta più la sua funzione;

5) identificazione degli artropodi presenti nelle trappole. Si deve tener presente che la modalità di raccolta degli esemplari repertati si rivela importante: dall'integrità degli stessi dipende infatti la validità della determinazione sistematica. Si consiglia per tale processo l'utilizzo di provette contenenti alcol all'80% per le larve, al 70% per gli adulti, oppure di contenitori con una miscela di 94–95 parti di alcol al 70% più 5–6 parti di acido acetico assoluto (per insetti o altri artropodi con esoscheletro fortemente chitinizzato);

6) predisposizione di un grafico programmatico riguardante i dati qualitativi e quantitativi delle catture e la distribuzione degli infestanti nocivi rinvenuti all'interno dei locali conservativi.

Dispositivi di cattura I dispositivi di cattura in commercio presentano geometrie e meccanismi di richiamo diversi e devono essere scelti in base alle specie da monitorare e all'ambiente interessato. Le trappole vengono generalmente distinte in due gruppi: trappole generaliste (adatte per monitoraggi a scopo preventivo) e trappole specifiche (per valutare l'efficacia della strategia di lotta verso un organismo già noto), a seconda se utilizzano rispettivamente



Fig. 8.23

Ingrandimenti allo stereomicroscopio di resti di isotteri. In alto a sn si possono visualizzare escrementi di *Reticulitermes* sp. dalla tipica forma a barilotto a sezione esagonale. In alto a dx l'immagine mostra resti di alati e in basso sono visibili resti di camminamenti

sistemi basati su attrattivi generici (es. luce nelle trappole luminose o colore in quelle cromotropiche) oppure innescati con sostanze attrattive (feromoni o alimenti) il più possibile associate alla specie infestante. Per quanto riguarda gli artropodi, sul mercato sono disponibili trappole alimentari per "insetti striscianti" (Blattoidei, Psocotteri, larve di Coleotteri e Lepidotteri) e per "insetti volatori" (Ditteri, adulti di Coleotteri e Lepidotteri) innescate con sostanze (feromoni e/o alcuni allelochimici) che risultano particolarmente attrattive permettendo così la cattura di numerose specie infestanti (per monitoraggi, soppressioni e controlli delle popolazioni di organismi nocivi[34]). I feromoni sono però molecole labili dal punto di vista ambientale e devono essere protette dalla degradazione fotochimica, termica, ossidativa e idrolitica; le loro prestazioni mostrano quindi alcuni limiti e alcuni aspetti critici nell'applicazione *indoor*[35].

Le trappole adesive prive di attrattivi (in cartoncino) con superficie collosa (1 mm ca. di spessore) sono di gran lunga le più diffuse e utilizzate in ambienti archivistici e librari in quanto efficaci, ad ampio spettro e allo stesso tempo sicure e poco costose. Sono di due tipi: a pannello orizzontale e verticale. Le prime, vengono posizionate a terra, su arredi, contenitori di beni ecc. e sono indicate per catturare insetti striscianti (individui atteri e stadi giovanili atteri di quelli alati), ma possono anche trattenere insetti volatori (se pur in modo molto meno efficace rispetto a quelle verticali). Quelle a pannello verticale, per insetti volatori, particolarmente idonee in ambienti confinati, vengono di preferenza collocate in prossimità di fonti luminose quali finestre o lampade in modo da sfruttare l'effetto attrattivo esercitato dalla luce verso alcuni tipi di insetti (risposta allo stimolo di luce indirizzata = fototropismo positivo)[36].

In merito al monitoraggio, di seguito viene proposto un modello di scheda per il campionamento entomologico. Nella scheda[37] tipo sono riportati i dati relativi alle trappole utilizzate, alla loro ubicazione nell'ambiente e al numero di catture (e agli organismi catturati) in funzione del tempo.

SCHEDA MONITORAGGIO/CAMPIONAMENTO ENTOMOLOGICO
DATI IDENTIFICATIVI DEL LOCALE
DENOMINAZIONE .....
UBICAZIONE .....
FONDI/COLLEZIONI .....
NOTE .....
DATI DEL MONITORAGGIO
TIPOLOGIA DISPOSITIVI .....
DATA INIZIO E FINE MONITORAGGIO ..... .
NOTE .....
DATI DISPOSITIVO PER IL MONITORAGGIO
N. ID. DISPOSITIVO .....
POSTAZIONE DISPOSITIVO .....
N°/DATA ISPEZIONE ..... ID. ESEMPLARI REPERTI.....
1 2 3 n
DOCUMENTAZIONE GRAFICA/FOTOGRAFICA .....
ESPERTO/I .....
NOTE .....
DATI DEL CAMPIONAMENTO
N° ESEMPLARI/REPERTI .....
STADIO VITALE .....
MODALITÀ RACCOLTA .....
MODALITÀ CONSERVAZIONE/INVIO ESEMPLARI/REPERTI .....
DATI ATTIVITÀ CAMPIONAMENTO (data, esperto/i) .....
NOTE .....
IDENTIFICAZIONE SCHEDA
N. SCHEDA .....
RELAZIONI CON ALTRE SCHEDE .....
DATI COMPILAZIONE SCHEDA (data elaborazione, data ultimo aggiornamento, compilatore/i) .....
NOTE .....

8.6 Strategie di intervento

Nella tabella 8.2 sono suddivise, per Ordine di Artropodi (dannosi a beni archivistici e librari) le pratiche da condurre a livello preventivo e le diverse azioni di lotta (vedi anche § 10.2) per avere una panoramica sulle metodiche da adottare.

Tabella 8.2 – Artropodi infestanti, strategie di prevenzione e metodi di lotta.

ARTROPODI	STRATEGIE PREVENTIVE	METODI DI LOTTA
Thysanura	Mantenimento di idonei valori termoigrometrici (in particolare bassa umidità). Verifica dell'assenza di luoghi di rifugio (es. interstizi, fessure) ed eliminazione degli stessi. Depolveratura periodica dei locali e degli alloggiamenti. Accurata igienizzazione* dei locali. Ispezioni periodiche. Monitoraggi con trappole (controllo periodico).	Isolamento del materiale infestato. Depolveratura del materiale infestato. Controllo dei beni situati in prossimità dei materiali infestati. Deumidificazione dei locali. Pulizia** dei locali (soprattutto fessure e battiscopa). Trattamenti con polveri insetticide per fessure e interstizi.
Blattodea	Mantenimento di idonei valori termoigrometrici (in particolare bassa umidità). Verifica dell'assenza (eventuale eliminazione) di possibili luoghi di accesso e/o rifugio. Accurata igienizzazione dei locali. Ispezioni periodiche. Monitoraggi con trappole (controllo periodico).	Isolamento del materiale infestato. Controllo dei beni situati in prossimità dei materiali infestati. Sanificazione*** dei locali. Risanamento ambientale. Posizionamento di esche alimentari in gel (prodotto trasferito da una blatta all'altra con una sorta di effetto "a cascata" – cfr. tab. 10.2).
Psocoptera (presenza spesso collegata a quella di microfunghi, di cui questi insetti si nutrono)	Mantenimento di idonei valori termoigrometrici (in particolare bassa umidità). Controllo degli aeratori. Depolveratura periodica di locali e alloggiamenti. Accurata igienizzazione dei locali. Ispezioni periodiche. Monitoraggi con trappole (controllo periodico). Esame delle polveri.	Isolamento del materiale infestato. Depolveratura del materiale infestato. Controllo dei beni situati in prossimità dei materiali infestati. Deumidificazione dei locali. Pulizia dei locali.
Coleoptera (Anobidae e Dermestidae)	Sistemazione di dispositivi barriera anti-intrusione. Ispezione e quarantena dei materiali in entrata. Accurata igienizzazione dei locali. Ispezioni periodiche. Monitoraggi con trappole (controllo periodico).	Isolamento del materiale infestato. Controllo dei beni situati in prossimità dei materiali infestati. Pulizia dei locali. Atmosfere modificate/controllate sul materiale (cfr. Capitolo 10).
Isoptera	Mantenimento di idonei valori termoigrometrici (in particolare bassa umidità). Ispezioni periodiche. Accurata igienizzazione dei locali. Monitoraggi con trappole (controllo periodico). Utilizzo di sensori per il rilevamento dell'attività degli insetti.	Isolamento del materiale infestato. Controllo dei beni situati in prossimità dei materiali infestati. Posizionamento di stazioni (*baits*) in aree critiche, sigillate con esche alimentari costituite da un insetticida chitino-inibitore****. La matrice cellulosica è impregnata di IGR, *Insect Growth Regulator* (cfr. tab. 10.2), diffuso per trofallassi. Pulizia dei locali.

* Rimozione e allontanamento dello sporco e dei microrganismi con conseguente riduzione della carica microbica. Equivalente a detersione (Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020).
** Definita nel Regolamento (CE) 648/2004 come: il processo mediante il quale un deposito indesiderato viene staccato da un substrato o dall'interno di un sostrato e portato in soluzione o dispersione.
*** Complesso di procedimenti e operazioni atti a rendere sani gli ambienti mediante attività di pulizia e/o disinfezione e/o disinfestazione (Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020).
**** Sistema impiegato contro le termiti sotterranee. L'IGR è un regolatore di crescita con effetto antichitinizzante che inteferisce nei processi di muta e metamorfosi. Gli operai, che provvedono a tutte le necessità della colonia, si nutrono dell'esca e veicolano il regolatore all'interno della colonia.

Accertata l'infestazione, il programma di IPM propone come fase successiva l'identificazione tassonomica degli organismi implicati e la verifica della loro distribuzione spaziale nel locale conservativo al fine di intervenire in modo mirato applicando corrette strategie integrate di lotta e di prevenzione.

Nel caso si rendesse necessaria una disinfestazione, si può ricorrere a varie strategie (quali ad esempio l'anossia e il congelamento che hanno suscitato un grande interesse negli ultimi venti anni – vedi Capitolo 10)[38] alternative alla applicazione di sostanze pesticide, quasi sempre associata ad effetti collaterali indesiderati sia sull'uomo sia sui manufatti, tanto che i regolamenti sui biocidi sono sottoposti a continue revisioni allo scopo di limitarne o vietarne l'uso[39].

Dal punto di vista chimico gli insetticidi si dividono sostanzialmente in quattro gruppi principali: organoclorurati, organofosforati, carbammati e piretroidi. Questi ultimi di origine naturale, comprendono circa 40 principi attivi e sono quelli maggiormente usati per il controllo degli infestanti. Oltre a questi, negli ultimi anni si sono diffusi i neonicotinoidi (derivanti dalla nicotina, alcaloide sottoprodotto della lavorazione del tabacco) soggetti a restrizioni in Europa (le restrizioni riguardano solo alcuni) per la loro pericolosità nei confronti delle api.

Il congelamento, utilizzato soprattutto in caso di calamità naturali, blocca lo sviluppo di tutte le forme di vita consentendo di organizzare in un secondo momento il processo di recupero.

Per un intervento di disinfestazione attualmente il trattamento maggiormente utilizzato è quello con le atmosfere controllate/modificate, ove è possibile generare negli insetti condizioni di anossia, sostanzialmente mediante la riduzione della concentrazione di ossigeno (O_2<0,1%)[40], o grazie all'aumento di anidride carbonica (CO_2>60%)[41], provocando in entrambe le condizioni la morte dell'organismo. Il trattamento, inserito nella normativa EN16790 come metodologia da applicare e promosso anche dall'ICOM, fu sperimentato alla fine del secolo scorso presso alcuni istituti di conservazione del Nord America: il The Getty Conservation Institute, il J. Paul Getty Museum e il Canadian Conservation Institute. Sicuramente in grado di eradicare qualsiasi specie di insetto, o altro artropode in ogni stadio vitale (uova, larva, pupa, adulto) ma inefficace nei confronti dei microrganismi, può essere effettuato in autoclave o in involucri sigillati costituiti da film barriera (ad ossigeno e vapore acqueo) sigillati a caldo. Tali film sono generalmente multistrato con uno strato esterno in poliestere o polipropilene, uno intermedio in metallo, solitamente alluminio (o anche copolimeri quali etilvinilalcol) e uno interno in polietilene a bassa densità. Al momento, il protocollo raccomandato è stato validato per alcune specie e quindi sono necessarie ulteriori ricerche per determinare i tempi e i metodi di esposizione ottimali per i vari tipi di insetti.

Similmente all'IPM rivolto agli artropodi la lotta ai roditori negli ambienti *indoor* può essere condotta mediante diverse strategie, la cui scelta dipende dalle caratteristiche della struttura in questione, dalle misure di esclusione messe in atto, dall'entità del problema. Generalmente ci si orienta sull'uso di trappole, discutibili dal punto di vista etico o sulla collocazione di distributori di esche tossiche oppure, come più di frequente accade, su una combinazione di entrambe le tecniche. I risultati derivanti dalle attività di monitoraggio o dai sopralluoghi diretti effettuati costituiscono un valido aiuto per adottare la strategia di controllo più idonea al contesto in cui si opera (densità delle trappole, intensità dei controlli ecc.). Nelle situazioni di maggior degrado, dove si osservi la presenza di ratti di una o di entrambe le specie (ratto nero

e ratto norvegico), è senza dubbio necessario ricorrere all'uso di esche tossiche (*bait station*) anche se bisogna tenere in considerazione che tali animali tendono a morire talvolta in luoghi inaccessibili causando ulteriori problemi gestionali[42].

Alla luce di quanto esposto si ritiene opportuno evidenziare l'importanza della profonda conoscenza da parte del conservatore della natura chimico-fisica dei materiali custoditi; ciò risulta indispensabile quando si deve ricorrere a un intervento disinfestante perché, oltre all'efficacia del trattamento, è necessario valutare, come accennato, anche la possibilità che la stessa metodologia utilizzata possa danneggiare i beni. Nel caso particolare delle fotografie, è di fondamentale rilevanza, infatti, disporre di personale tecnico altamente qualificato, con specifiche competenze relative alla grande eterogeneità di questi materiali compositi e biodeteriorabili. Ogni trattamento, quindi, deve essere effettuato solo in caso di estrema necessità e la sua applicazione svolta attentamente perché il processo di bonifica comporta comunque un impatto meccanico, fisico e/o chimico sull'oggetto trattato. Interventi non condotti correttamente, potrebbero causare danni peggiori di quelli imputabili alla presenza dei biodeteriogeni. Pertanto, dopo aver deciso l'obbligatorietà del trattamento, si consiglia di valutare vantaggi e svantaggi di ciascun metodo parallelamente ai limiti di applicabilità e ai costi di realizzazione, tenendo in considerazione che qualsiasi intervento effettuato, non preserva il bene trattato da infestazioni successive. Si fa presente, inoltre, che la risposta ad una infestazione deve essere proporzionata al livello di attacco e al rischio che presenta.

Conservare memoria di tutte le operazioni effettuate nell'ambito del programma di IPM sarà sicuramente utile nel tempo per pianificare attività sempre più efficienti o per identificare eventuali carenze, così come attraverso le analisi statistiche e storiche, di tutti i dati raccolti, potrebbe essere possibile prevedere e quindi prevenire situazioni di rischio con interventi mirati.

Sebbene l'IPM sia rivolto principalmente alla gestione di artropodi e roditori, la peculiarità di integrare più metodi e discipline per il controllo degli infestanti consente contestualmente di rendere l'ambiente di conservazione meno idoneo altresì allo sviluppo di microrganismi. Gli interventi messi in atto per evitare possibili infestazioni (monitoraggi, ispezioni, quarantena per beni in entrata ed uscita, controllo dei parametri termoigrometrici, della velocità dell'aria, di eventuali inquinanti *indoor* ecc.) si rivelano infatti strategie fondamentali anche per il contenimento del deterioramento dovuto ai microfunghi e batteri di cui si parlerà nel capitolo successivo.

Secondo l'etica moderna della conservazione, ove possibile, si devono usare sistemi o prodotti il cui effetto sui manufatti sia minimo o reversibile, come scrive Caple (2012)[43]. L'Autore ribadisce infatti che la conservazione preventiva si concentra più sul non-trattamento che sul trattamento[44]. Tale linea di azione è in sintonia con il noto concetto di restauro portato avanti da Brandi (atto critico valutabile caso per caso), dall'inizio degli anni Sessanta, che si basa sul rispetto di alcuni principi fondamentali tra cui: minimo intervento, compatibilità, reversibilità[45].

Come indicato nella EN 16790:2016, tutto il processo IPM deve essere gestito da un coordinatore responsabile, esperto nello specifico settore, al quale deve essere concesso un tempo sufficiente (a seconda delle dimensioni della raccolta e dei rischi specifici) e un *budget* adeguato a svolgere le attività previste dal programma:

- analizzare i rischi derivanti dai fattori biologici;

- dare la priorità alle azioni preventive e/o ai trattamenti;
- stabilire politiche e procedure adeguate;
- implementare soluzioni tecniche sostenibili e appropriate;
- identificare ruoli e responsabilità delle diverse figure professionali membri del personale;
- raccogliere i dati con regolare monitoraggio;
- formare e aggiornare lo staff e i possibili volontari e fornire informazioni di riferimento agli utenti;
- istruire le società esterne che a vario titolo frequentano la struttura, in merito alle caratteristiche del patrimonio culturale (vulnerabilità, valore ecc.) e supervisionare il lavoro all'interno dell'istituzione.

Per ulteriori dettagli sulle competenze proprie di tale professionalità si rimanda alla norma suindicata.

8.7 L'applicazione della gestione integrata

Negli ultimi venti anni, la pratica della gestione integrata è diventata comune in diverse strutture europee[46] e internazionali (canadesi e americane)[47]; realtà conservative, soprattutto museali, hanno infatti adottato o adottano tali strategie finanziando a tempo programmi di IPM. Ne sono un esempio: l'English Heritage nel Regno Unito, l'Hampton Court Museum, il British Museum, il Victoria & Albert Museum e il Natural History Museum di Londra, il Colonial Williamsburg a Williamsburg in Virginia, la National Library of France e il Musée du quai Branly a Parigi, il Kunsthistorisches Museum a Vienna, l'Ethnologisches Museum, il National Museums e la Kunstbibliothek a Berlino[48].

Tuttavia, la maggior parte dei musei, archivi e biblioteche, non ha messo in atto, al momento, programmi di monitoraggio a lungo termine per cui l'IPM non rappresenta ancora uno standard di riferimento per le grandi collezioni. Probabilmente, come già sottolineato, un programma di tal genere per avere successo richiede una collaborazione e un impegno di non poco conto da parte di tutto il personale, nonché di risorse economiche.

Le allettanti prospettive di questo approccio hanno destato comunque un vivo interesse nell'ambito del Comitato Europeo per la standardizzazione – CEN, tanto che esperti di vari paesi europei hanno lavorato alla stesura di una norma per l'applicazione dell'IPM negli ambienti di conservazione di beni culturali: la EN 16790:2016, precedentemente citata. In tale documento, i termini contaminazione e infestazione sono specificati separatamente per operare una distinzione tra i diversi biodeteriogeni che causano queste condizioni. Inoltre il termine *pests*, traducibile come insetto nocivo, viene esteso anche ai microrganismi che nella letteratura specialistica non vengono solitamente identificati con tale definizione.

Anche se in generale il settore è in piena evoluzione sia sul piano scientifico che su quello tecnologico, nel nostro Paese il programma di strategia integrata, purtroppo, non è tenuto in considerazione. A tale proposito uno studio condotto in diverse istituzioni del Nord Italia da Reguzzi *et al.* (2016)[49] (per valutare i costi di: gestione organizzativa, restauro e IPM al fine di verificare la sostenibilità delle misure preventive di conservazione) presentato al "3rd International Conference IPM 2016", svoltosi a Parigi, ha evidenziato, in generale, l'assenza di piani di conservazione preventiva, sia per la non consapevolezza dell'esistenza di procedure standardizzate di IPM, sia per

mancanza di operatori qualificati all'interno delle strutture prese in esame. In merito a ciò i ricercatori italiani scrivono:

> «[…] *While in Europe IPM standard has just been published, in Italy restoration culture still represents the main conservation practice also due to the higher visibility for both the property itself and the conservation institution, as well as for public and private sponsors. […] To provide an overview of some Italian companies that manage cultural heritage to reflect on how the approach towards heritage protection from insects should not be seen as something impossible and far from us, but with the right methods and right actions will lead, in a time of crisis like ours, to avoid late restorations and as a result, large amounts of money spent.*»

Tradotto così dagli autori:

> «[…] Mentre in Europa lo standard IPM è stato appena pubblicato, in Italia la cultura del restauro rappresenta ancora la principale pratica di conservazione anche a causa della maggiore visibilità sia per la proprietà stessa che per l'istituto di conservazione, nonché per gli sponsor pubblici e privati. […] Fornire una panoramica di alcune istituzioni italiane che gestiscono il patrimonio culturale per riflettere su come l'approccio alla protezione dei beni dagli insetti non debba essere visto come qualcosa di impossibile e lontano, ma con adeguati metodi e azioni mirate, porterà, in un momento di crisi come il nostro, ad evitare restauri tardivi e, di conseguenza, di spendere grandi quantità di denaro.»

Una corretta gestione delle specie nocive risulta importante oltre che per proteggere le collezioni anche per salvaguardare la salute umana e l'ambiente dai rischi derivanti dall'applicazione dei prodotti biocidi.

Occorre quindi una maggiore sensibilizzazione a queste tematiche e un'aggiornata formazione per chi opera a difesa dei beni. Un'altra considerazione da fare, che impone certamente una riflessione, riguarda i cambiamenti climatici. Tali mutamenti, che si manifestano attraverso variazioni dei parametri ambientali, sono una realtà che non può essere più ignorata anche in ambito conservativo. Essi, nel tempo, peseranno su molti paesi generando ambienti più caldi e più umidi (come si sta verificando ad esempio nel nord Europa) e continueranno a provocare alterazioni nella distribuzione delle specie animali, con conseguente aumento del rischio di biodeterioramento dei beni culturali.

Tale tematica è stata anche affrontata in una conferenza tenuta a Stoccolma (21–23 maggio 2019) che ha visto il dibattito incentrato sulla gestione integrata rivista nell'era della globalizzazione e sul clima soggetto a cambiamenti così importanti da portare a predisporre ulteriori programmi diversi[50].

Da segnalare in questo ambito tra l'altro è il singolare studio[51] (tipico della cultura inglese, n.d.r.) di Sauseng e Querner (2019), presentato nella conferenza, che fa riferimento all'utilizzo di cani per il rilevamento di insetti[52] (quali anobidi, lictidi o lepismatidi). Per il progetto pilota è stato addestrato (il *training* è durato sei mesi) il *beagle* Funny per lo svolgimento delle ispezioni. Il tasso di successo rilevato è molto alto con una sensibilità complessiva (abilità nel rilevamento di un odore) dell'85–93% e una specificità (capacità di differenziare i diversi odori) del 79–94%[53]. Anche il Museum of Fine Arts di Boston[54] si avvale di una recente acquisizione: Riley. Il bracco di Weimar, sin da cucciolo, è stato istruito a fiutare l'odore dei feromoni degli insetti deteriogeni del legno e di altri manufatti. Se il cane ha ricevuto un buon

addestramento l'ispezione richiede senza dubbio un tempo minore, soprattutto se gli ambienti di conservazione ospitano migliaia di libri/documenti di cui solo pochi sono infestati. Il metodo di rilevazione, ancora in studio, potrà in tal modo essere consigliato in alcune realtà conservative. I cani, del resto come noto, sono impiegati in numerosi campi e grazie al loro olfatto hanno notevoli capacità di diagnosi (anche precoci) in campo medico; ad esempio a marzo del 2021 giunse la notizia dell'addestratamento di alcuni cani (sperimentazione del Campus Bio-Medico di Roma) per il riconoscimento dei soggetti positivi al Covid, per *screening* di massa (impiegando 10-30 secondi per ogni individuo e con una precisione altissima, paragonabile a quella dei test molecolari).

Per concludere, tornando alla riflessione sull'importanza di considerare i cambiamenti climatici allo scopo di prevedere e comprendere appieno i rischi futuri derivanti dagli impatti di un cambiamento climatico, si impone di adottare strategie di gestione adattive. Tali strategie in grado di proteggere il patrimonio culturale non possono prescindere da un costante aggiornamento e un coordinato confronto tra conservatori, curatori, archivisti, bibliotecari o altri responsabili delle collezioni o professionisti del settore per affrontare le sfide che il futuro potrà riservare[55].

Note alle immagini

Fig. 8.1 ripresa fotografica eseguita dagli Autori del contributo (archivio Autori).

Figg. 8.5, 8.14, 8.20, 8.21, 8.22 e 8.23 riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Carlo Tronci (ENEA-BIOAG-SOQUAS C.R. Casaccia), Alessandra Paolini e Alessandra La Marca della BBCA-onlus.

Figg. 8.2, 8.3, 8.4, 8.8, 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.15, 8.15a, 8.17, 8.17a, 8.17b, 8.19 e 8.19a riprese fotografiche eseguite da Donatella Matè.

Figg. 8.6 e 8.7 riprese fotografiche eseguite da Marianna Adamo. Esemplari di *Blaptica dubia* allevati presso ENEA-FSN C.R. Casaccia.

Figg. 8.13 ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Vittorio Bianchi Matè.

Fig. 8.16 ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Sergio Lucretti (ENEA - UTAGRI C.R. Casaccia).

Fig. 8.18 ripresa fotografica eseguita da Marta Piscitelli (ENEA-SSPT-TECS C.R. Casaccia).

I materiali fotografici relativi alle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] J. Ashley-Smith, *Definitions of damage*, in *Cool Conservation*, 1995, da: https://cool.culturalheritage.org/byauth/ashley-smith/damage.html (consultato il 16/06/2022).

[2] 1st International Biodeterioration Symposium, 1968, Southampton, *Biodeterioration of Materials, Microbiological and Allied Aspects. Proceedings of the 1st International Biodeterioration Symposium, Southampton 9th–14th September, 1968*, A.H. Walters, J.J. Elphick (eds.), Amsterdam, Elsevier, 1968; D. Allsopp, C.G. Gaylarde, *Our History*, International Biodeterioration & Biodegradation, Society – IBBS, 2014, da: http://ibbsonline.org/history (consultato il 16/06/2022).

[3] D. Allsopp, K.J. Seal, *Introduction to Biodeterioration*, Londra, Edward Arnold, 1986; D. Allsopp, K.J. Seal, C.G. Gaylarde, *Introduction to Biodeterioration*, 2nd ed., Cambridge, Cambridge University Press, 2004.

[4] D. Pinniger, *Pests*, Preservation Advisory Centre, London, The British Library, 2012, pp. 1–15.

[5] G. Grandi, *Introduzione allo Studio dell'Entomologia*, vol. I, Bologna, Edagricole, 1984.

[6] G. Grandi, *Istituzioni di Entomologia Generale,* Bologna, Calderini, 1966; A. Servadei, S. Zangheri, L. Masutti, *Entomologia Generale ed Applicata*, Padova, Casa Editrice Antonio Milani (CEDAM), 1972; E. Tremblay, *Entomologia Applicata*, vol. I., 3 ed., Napoli, Liguori Editore, 1985; A. Pollini, *Manuale di Entomologia Applicata*, Bologna, Edagricole, 2002; R.F. Chapman, *The Insect: Structure and Function*, 5th edition, S.J. Simpson, A.E. Douglas (eds.), New York, Cambridge University Press, 2013.

[7] L. Masutti, S. Zangheri, *Entomologia Generale e Applicata*, Padova, CEDAM, 2001.

[8] *Ibid.*

[9] F. Delìa, *Infestanti e problematiche di restauro conservativo*, in *Sulle Fotografie Danneggiate. Gestione degli Organismi Infestanti*, M. Adamo, D. Matè, P. Trematerra (eds.), Roma, ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 2015, pp. 195–203 da: https://iris.enea.it/handle/20.500.12079/5098 (consultato il 16/06/2022).

[10] D. Pinniger, *Pest Management in Museums, Archives, and Historic Houses*, Archetype Publications, London, 2001; D.B. Pinninger, P. Winsor, *Integrated Pest Management: A Guide for Museums, Libraries and Archives*, London, Museum Libraries Archives, 2004; P. Trematerra, L. Süss, *Prontuario di Entomologia Merceologica e Urbana. Con Note Morfologiche, Biologiche e di Gestione delle Infestazioni*, Roma, Aracne Editrice, 2007; M. Montanari, E. Ruschioni, P. Trematerra, *Archivi & Biblioteche. Sugli Infestanti e sulle Infestazioni*, Roma, Editore Gangemi, 2008; P. Winsor, D. Pinniger, L. Bacon, B. Child, K. Harris, D. Lauder, J. Phippard, A. Xavier-Rowe, *Integrated Pest Management for Collections: Proceedings of 2011: A Pest Odyssey, 10 Years Later*, Swindon, UK, English Heritage, 2011; P. Trematerra, D. Pinniger, *Museum pests–cultural heritage pests*, in *Recent Advances in Stored Product Protection,* C.G. Athanassiou, F.H. Arthur (eds.), Heidelberg, Springer-Verlag GmbH, 2018, pp. 229–260, DOI: 10.1007/978-3-662-56125-6_11.

[11] G. Grandi 1984, *op. cit.*

[12] A. Servadei *et al.* 1972, *op. cit.*; G. Grandi 1984, *op. cit.*

[13] M. Adamo, U. Cesareo, D. Matè, E. Ruschioni, *La conservazione del patrimonio fotografico. Valutazione del danno provocato dall'insetto Blaptica dubia*, in *Kermes*, XVII, 55, 2009, pp. 51–66; E. Ruschioni, D. Matè, M. Adamo, U. Cesareo, *Blaptica dubia (Blattodea, Blaberidae): damage to photographs*, in *IOBC-WPRS Bulletin*, IOBC/WPRS Working Group "Integrated Protection of Stored Products", Proceeding of the Meeting at Campobasso Italy, June 29–July 2 2009, C.G. Athanassiou, C. Adler, P. Trematerra (eds.), vol. 69, 2011, pp. 127–134; M. Adamo, D. Matè, E. Ruschioni, F. Zarbo, *Danni causati da Blattoidei su cartoline degli anni'60*, in *I Beni Culturali*, XIX, 1, 2011, pp. 2–6; M. Adamo, U. Cesareo, D. Matè, *Conservare il patrimonio fotografico. Studio sulla vulnerabilità di carte fotografiche all'attacco di insetti blattodei*, in *Lo Stato dell'Arte 10*, X Congresso Nazionale IGIIC, Roma 22–24 Novembre 2012, Firenze, Nardini Editore, 2012, pp. 285–292; M. Adamo, U. Cesareo, D. Matè, *Materiali conservati in archivi e biblioteche: vulnerabilità all'azione di insetti Blattoidei*, in *Progetto Restauro*, 64, 2012, pp. 27–31; M. Adamo, G. Cotellessa, D. Matè, P. Trematerra, *Blaptica dubia Serville (Blattodea, Blaberidae) a biodeteriorating agent of photographic materials*, in *11th International Working Conference on Stored Product Protection*, 24–28 November 2014, Chang Mai, Thailand, F.H. Arthur, R. Kengkanpanich, W. Chayaprasert, D. Suthisut (eds.), Session 7: Museums Pests, pp. 734–743, DOI: 10.14455/DOA.res.2014.114; M. Adamo, G. Cotellessa, M. De Francesco, D. Matè, P. Trematerra, *Effects of chewing insect attack (Blaptica dubia) on color photographic prints*, in *IOBC-WPRS Bulletin*, Working Group "Integrated Protection of Stored Products", Proceedings of the Meeting at Zagreb (Croatia), June 28–July 1 2015, P. Trematerra, D. Hamel (eds.), vol. 111, 2015, pp. 463–473.

[14] P.W.C. Green, *Fungal isolates involved in biodeterioration of book-paper and their effects on substrate selection by Liposcelis bostrychophila (Badonnel) (Psocoptera: Liposcelididae)*, in *Journal of Stored Products Research*, 44, 3, 2008, pp. 258–263, DOI: 10.1016/j.jspr.2008.01.003.

[15] A. Servadei *et al.* 1972, *op. cit.*

[16] P. Fontana, F.M. Buzzetti, *Nuova segnalazione di Cryptotermes brevis (Walker, 1853) in Italia settentrionale (Insecta, Isoptera, Kalotermitidae)*, in *Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Vene-*

zia, 54, 2003, pp. 35-44.

[17] A.G. Bagnères, P. Uva, J.L. Clément, *Description d'une nouvelle espèce de Termite: Reticulitermes urbis n. sp. (Isopt., Rhinotermitidae)*, in *Bulletin de la Société entomologique de France*, 108, 4, 2003, pp. 433-435.

[18] D. Capizzi, L. Santini, *I Roditori Italiani. Ecologia, Impatto sulle Attività Umane e sugli Ecosistemi, Gestione delle Popolazioni*, Roma, Antonio Delfino Editore, 2007; M. Adamo, D. Matè, P. Trematerra, S*ulle fotografie danneggiate. Gestione degli organismi infestanti*, Roma, ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 2015, da: https://iris.enea.it/handle/20.500.12079/5098 (consultato il 16/06/2021).

[19] J. Dawson, *The effects of insecticides on Museum artifacts and materials*, in *A Guide to Museum Pest Control*, L.A. Zycherman, J.R. Schrock (eds.), Whashington D.C., Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and Association of Systematics Collections, 1988, pp. 135-150.

[20] G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvadori, *Metodi chimici*, in *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol. I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvadori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 318-322.

[21] R. Peshin, R.S. Bandral, W. Zhang, L. Wilson, A.K. Dhawan, *Integrated pest management: a global overview of history, programs and adoption*, in *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process*, R. Peshin, A.K. Dhawan (eds.), vol. 1, New York, Springer, 2009.

[22] Council Environmental Quality (CEQ), *Integrated Pest Management,* Washingthon D.C., U.S. Govt. Printing Office, 1972.

[23] D. Pinniger, P. Winsor, *Integrated Pest Management. A Guide for Museums, Libraries and Archives*, London, Museums, Libraries and Archives Council, 2004, pp. 1-37.

[24] UNI EN 16636:2015, *Servizi di gestione e controllo delle infestazioni (pest management) - Requisiti e competenze*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2015.

[25] EN 16790:2016, *Conservation of cultural heritage - Integrated pest management (IPM) for protection of cultural heritage*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2016.

[26] UCSF, *Integrated Pest Management Checklist*, California Childcare Health Program, University of California (UC), San Francisco School of Nursing, 2011, da: http://www.si.edu/mci/downloads/articles/pests9.pdf (consultato il 16/06/2022).

[27] A. Doyle, D.B. Pinniger, S. Ryder, *Risk zones for IPM: from concept to implementation*, in *Collect Forum*, 22, 1-2, 2007, pp. 22-31; S. Ryder, A. Mendez, *Using risk zones in museums as part of an IPM Programme: does it work?*, in *Journal Studies in Conservation*, 64, 4, 2019, pp. 203-207, DOI:10.1080/00393630.2018.1530859.

[28] A. Doyle *et al.* 2007, *op. cit.*; D.B. Pinniger, *New developments in pest management for collections in museums and historic houses*, in *Proceedings of the Seventh International Conference on Urban Pests, W.H. Robinson, A.E. de Carvalho Campos (eds.), São Paulo, SP. Brazil*, Printed by Instituto Biológico, 2011, pp. 17-21; S. Ryder, A. Mendez 2019, *op. cit.*

[29] L. Masutti, S. Zangheri 2001, *op. cit.*

[30] UNI 10829:1999, *Beni d'interesse storico artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi*, Milano, Ente Nazionale di Unificazione, 1999.

[31] UNI EN 15757:2010, *Conservazione dei Beni Culturali - Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici*, Bruxelles, Comitato Europeo di Normazione, 2010.

[32] Gruppo di Lavoro ISS Biocidi COVID-19, *Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza COVID-19: superfici, ambienti interni e abbigliamento*, Versione del 15 maggio 2020, Roma, Istituto Superiore di Sanità, 2020 (Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020).

[33] ICPAL, *Linee guida per la gestione delle operazioni di sanificazione e disinfezione degli ambienti di*

Archivi e Biblioteche – Misure di contenimento per il rischio di contagio da Coronavirus (COVID-19), 2020, pp. 1–3, da: https://dger.beniculturali.it/wp-content/uploads/2020/05/7535906Linee-Guida.pdf-ICRCPAL.pdf (consultato il 16/06/2022).

[34] P. Trematerra, *Advances in the use of pheromones for stored-product protection*, in *Journal of Pest Science*, 85, 3, 2012, pp. 285–299, DOI: 10.1007/s10340-011-0407-9.

[35] P. Trematerra, *Aspects related to decision support tools and integrated pest management in food chains*, in *Food Control*, 34, 2, 2013, pp. 733–742, DOI:10.1016/j.foodcont.2013.06.020.

[36] U. Cesareo, P. Trematerra, *Le tecniche di monitoraggio*, in *Sulle Fotografie Danneggiate. Gestione degli Organismi Infestanti*, M. Adamo, D. Matè, P. Trematerra (eds.), Roma, ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 2015, pp. 115–120, da: https://iris.enea.it/handle/20.500.12079/5098 (consultato il 16/06/2022).

[37] M. Adamo *et al.* 2015, *op. cit.*

[38] M. Gilberg, *The effects of low oxygen atmospheres on museum pests*, in *Studies in Conservation*, 36, 2, 1991, pp. 93–98, DOI: 10.2307/1506333; J.E. Bergh, H.L. Stengard, K.M.Vagn Jensen, P.V. Nielsen, *The effect of anoxic treatment on the larvae of six species of dermestids (Coleoptera)*, in *Journal of Applied Entomology*, 127, 6, 2003, pp. 317–321; J.-E. Bergh, K.-M.V. Jensen, M. Åkerlund, L.S. Hansen, M. Andrén, *A contribution to standards for freezing as a pest control method for museums*, in *Collect Forum*, 21, 1–2, 2006, pp. 117–125; R.E. Child, D.B. Pinniger, *Using anoxia to kill pests: methodologies and methods*, in *ICOM Committee for conservation, 15th triennal meeting, New Delhi, India,* 2008, pp. 563–567.

[39] D.B. Pinniger, *Ten years on – from vodka beetles to risk zones*, in *Integrated Pest Management for Collections, Proceedings of 2011: A pest odyssey, 10 years later*, London, English Heritage, 2011, pp. 1–9.

[40] A. Berzolla, M.C. Reguzzi, E. Chiappini, *Controlled atmospheres against insect pests in museums: a review and some considerations*, in *Journal of Entomology and Acarological Research*, II, 43, 2, pp. 197–204, DOI: 10.4081/jear.2011.197.

[41] D. Pinniger 2001, *op. cit.*

[42] D. Capizzi, L. Santini 2007, *op. cit.*

[43] C. Caple, *Preventive Conservation in Museums*, Oxford, Routledge, 2012.

[44] C. Caple, *Conservation Skills: Judgement, Method and Decision Making*, London, Routledge, 2000, DOI: 10.4324/9780203086261.

[45] C. Brandi, *Teoria del restauro*, Torino, Einaudi, 1977.

[46] P. Querner, *Insect pests and integrated pest management in museums, libraries and historic buildings*, in *Insects*, 6, 2015, pp. 595-607, DOI: 10.3390/insects6020595.

[47] T.J.K. Strang, R. Kigawa, *Levels of IPM control: matching conditions to performance and effort,* in *Collection Forum*, 21, 1–2, 2006, pp. 96–116.

[48] P. Querner 2015, *op. cit.*

[49] M.C. Reguzzi, C. Sotgia, G. Canali, A. Berzolla, E. Chiappini, G. Pezzini, *Preventive conservation and IPM: their sustainability for cultural properties protection*, 3rd International Conference IPM, 13–15 September 2016, Auditorium of the Louvre Museum, Paris, poster, DOI:10.13140/RG.2.2.15002.44488; M.C. Reguzzi, A. Berzolla, G. Canali, E. Chiappini, G. Pezzini, C. Sotgia, *L'applicazione dell'IPM nei musei italiani: problematiche e prospettive*, in *Atti del XXV Congresso Nazionale di Entomologia, Padova 20–24 giugno 2016*, M. Faccoli, L. Mazzon, E. Petrucco-Toffolo (eds.), poster, p. 308.

[50] T. Broström, M. Wessberg, G. Leijonhufvud, *Better safe than sorry? – Climate control for mould prevention*, in *Integrated Pest Management (IPM) for Cultural Heritage, Proceedings from the 4th International Conference in Stockholm, Sweden, 21–23 May 2019*, Riksantikvarieämbetet 2019, pp. 222–229; G. Leijonhufvud, T. Broström, *A call for systematic monitoring: exploring the link between monitoring and management of cultural heritage in times of climate change*, in *Integrated Pest Management (IPM) for Cultural Heritage, Proceedings from the 4th International Conference in Stockholm, Sweden, 21–23 May*

2019, Riksantikvarieämbetet 2019, pp. 213–221.

[51] G. Sauseng, P. Querner, *Sniffer dogs in the detection of biscuit beetle (Stegobium paniceum) infestations in historic libraries*, in *Integrated Pest Management (IPM) for Cultural Heritage, Proceedings from the 4th International Conference in Stockholm, Sweden, 21–23 May 2019*, Riksantikvarieämbetet 2019, pp. 168-175.

[52] K. Springer, *Detection dogs in strategies for eradication pest species from natural environments*, in *Canine Olfaction Science and Law*, T. Jazierski, J. Ensminger, L.E. Papet (eds.), Boca Raton, CRC Press, 2016, pp. 335–349.

[53] U. Hoyer-Tomiczek, G. Sauseng, G. Hoch, *Scent detection dogs for the Asian longhorn beetle, Anoplophora glabripennis*, in *EPPO Bulletin*, 46, 2016, pp. 148–155, DOI:10.1111/epp.12282.

[54] mfa, Museum of Fine Arts Boston, *Riley the Museum Dog*, da: https://www.mfa.org/about/riley-the-museum-dog (consultato il 16/06/2022).

[55] P. Trematerra, D. Pinniger, *Museum pests – Cultural heritage pests*, in *Recent Advances in Stored Product Protection*, C.G. Athanassiou, F.H. Arthur (eds.), Berlin, Heidelberg, Springer, 2018, pp. 229–260, DOI:10.1007/978-3-662-56125-6_11.

9 Il danno da microrganismi

Marianna Adamo, Maria Carla Sclocchi, Donatella Matè

Nel capitolo precedente l'attenzione è rivolta agli organismi infestanti e alla loro gestione che vede, in una ottica moderna, la riduzione dell'uso di sostanze chimiche a favore di programmi di difesa integrata. In questa parte vengono trattati, invece, i principali microrganismi potenzialmente in grado di danneggiare i componenti sia organici che inorganici utilizzati nella produzione delle varie tipologie di oggetti fotografici.

Riguardo il fenomeno del biodeterioramento di natura microbiologica è da sottolineare che, sin dai primi decenni del Novecento, molti lavori scientifici sono stati condotti per evidenziare le specie microbiche maggiormente dannose. Il più delle volte però ci si è limitati ad un lavoro di descrizione tassonomica a discapito della distinzione delle specie in funzione del danno, ovvero distinguendo quelle rappresentative da quelle, invece, semplicemente presenti in ambiente. Infatti spesso dei microfunghi isolati dai vari materiali non si conosce con esattezza il loro potenziale biodeteriogeno: alcuni, pur presenti sui substrati, non partecipano di fatto ai processi degradativi. Da allora gli studi si sono moltiplicati e oggi il metodo scientifico per la risoluzione dei problemi di conservazione è applicato con l'ausilio di tecniche di indagine sempre più sofisticate e con il progressivo abbandono di deterrenti chimici per la distruzione di microrganismi e insetti dannosi.

9.1 Il biodeterioramento: definizioni e cenni storici

Da circa cinquant'anni "biodeterioramento" è sinonimo dei processi di trasformazione compiuti da macrorganismi e microrganismi sulle sostanze naturali e sui prodotti dell'attività umana per i quali queste materie vengono utilizzate come tali o lavorate artigianalmente e industrialmente[1]. Tale termine, che fu coniato nel 1968 a Southampton durante il primo congresso internazionale sul deterioramento biologico dei beni culturali, definisce l'insieme dei processi (fisici e/o chimici), causati dall'attività di organismi denominati "biodeteriogeni" in grado di modificare i materiali[2] (vedi introduzione del Capitolo 7).

Lo studio del biodeterioramento operato da microrganismi dannosi sui supporti scrittori ha però origini antiche.

Già Marco Vitruvio Pollione (I secolo a.C.), il più famoso teorico dell'architettura di tutti i tempi, nel suo trattato "Dell'architettura" al Capo VII (Aspetti del Cielo cui debbono guardare gli edifizj, quanto all'uso ed alla comodità) specifica come conservare i supporti scrittori per preservarli da attacchi di "muffe"[3].

> «[…] le biblioteche debbono riguardare all'Oriente, perché l'uso delle medesime richiede il lume della mattina; ed anche perché nelle biblioteche i volumi non si guastino: infatti in quelle che riguardano il Mezzogiorno, e l'Occidente, vengono viziati dalle tignole e dall'umido, stante che i venti umidi, che da queste regioni vi spirano, generano codesti insetti e ve li nutriscono, e co'loro aliti ammuffando i volumi gli scolorano e gli disfigurano […]».

Anche Gaio Plinio Secondo, noto come Plinio il Vecchio (I secolo d.C.),

scrittore, naturalista, filosofo, che ricoprì cariche civili e militari, descrive i danni ai papiri causati dagli insetti e i primi sistemi di prevenzione e conservazione consistenti nel trattamento degli scritti con gli oli e le essenze di limone. Nell'antica Cina, Chhi Min Tao Shu (VI secolo d.C.), invece, raccomanda[4]:

> «Tra il 15° giorno del V mese e il 20° giorno del VII mese, i rotoli di libri devono essere srotolati e riavvolti tre volte. Ciò deve essere eseguito in un giorno chiaro e in una casa spaziosa aerata e fresca e i libri non debbono essere esposti direttamente al sole perché la carta potrebbe imbrunire. I rotoli scaldati dal sole attraggono velocemente gli insetti e debbono essere evitate le giornate piovose e umide. Se i libri saranno curati in questo modo, dureranno centinaia di anni.»

Le prime notizie sulle cause di deterioramento del materiale bibliografico risalgono a circa la metà del secolo XVIII; sono gli insetti che colpiscono per primi l'interesse dei naturalisti e le osservazioni compiute richiamano l'attenzione di numerosi studiosi tanto da permettere l'ampliamento delle cognizioni acquisite. Nel 1853 M. de Quatrefages (Jean Louis Armand de Quatrefages de Bréau, biologo, zoologo e antropologo francese) dimostra il ruolo nocivo degli insetti e nel 1879 Hagen, professore all'Università di Harvard, afferma che alcuni insetti costituiscono una minaccia per i volumi[5]. Nei primi anni del Novecento l'entomologo francese Constant Vincent Houlbert apporta un grande contributo con il testo "Les insectes ennemis des livres"[6]; successivamente anche gli italiani Saccà e Illuminati[7] forniscono importanti apporti sulla conoscenza della fauna carticola.

Riguardo invece i microrganismi dannosi per i supporti scrittori, nel 1919 viene pubblicato da Pierre Sée, in Francia, un manuale dal titolo "Les maladies du papier piqué. Les champignons chromogènes qui les provoquent. Les modes de préservation"[8]. Il medico e scienziato francese osserva e descrive con molta precisione le macchie, sia spontanee sia derivanti da alterazioni riprodotte mediante colture di funghi microscopici sulla carta (*Alternaria chartarum*, *Stachybotrys atra*, *Fusarium* sp. ecc.). Ne descrive infatti la forma (quasi circolare, irregolare senza limiti precisi, diffusa ed estesa), i colori (riferibili ad una gamma assai vasta tra cui prevalgono quelli a tonalità scura quali il grigio e il grigio-verde o il marrone-nerastro) facendo riferimento anche a quelli rilevabili nella zona periferica e dovuti alla diffusione dei pigmenti. L'appassionato studioso riproduce tali *taches* in alcune tavole del testo (*planche* XVI-XVII). La descrizione riguarda 150 specie microbiche che vanno a creare una prima suddivisione di quelle carticole, tracciando così una tappa importante nella tematica del biodeterioramento[9].

Negli anni Trenta e Quaranta del Novecento diversi studiosi italiani e stranieri svolgono ricerche sulla complessa problematica dei danni rivolti a materiali archivistici e librari e dopo il secondo conflitto mondiale affrontano le situazioni di emergenza in cui versano numerosi libri e documenti sottratti ai bombardamenti. Ulteriori importanti studi si devono a vari ricercatori tra cui Onorato Verona e Cesare Sibilia[10].

Verona, agronomo, decide di estendere la propria sperimentazione ad altri campi tra cui le cause microbiche di danneggiamento della carta e dei libri. Sibilia, studioso delle "muffe carticole", riscontra che le colorazioni delle macchie sui supporti librari non dipendono solo dalla natura dei metaboliti prodotti dai funghi ma anche dal tipo di supporto, dalle condizioni ambientali e dall'attività temporale del micelio[11].

In questo contesto la storia si fa più vicina a noi con le intuizioni del paleografo italiano, professore incaricato di biblioteconomia dell'Università di Roma, Alfonso Gallo. Nel 1938 Gallo (su progetto elaborato in base alla grande esperienza acquisita e presentato a Giuseppe Bottai – allora ministro dell'Educazione Nazionale – che lo approva) fonda a Roma il Regio Istituto di Patologia del Libro, complessa e operosa istituzione di carattere scientifico e tecnico[12] che, sulla scia di questi risultati, si dedica allo studio del libro quale entità fisica, dalla struttura alle alterazioni, nonché alla prevenzione dei danni[13] (vedi § 1.1).

Tra il 1950 e il 1960 nascono centri di ricerca in ambito internazionale per studiare e approfondire l'ampia tematica connessa alla disciplina della conservazione. Gli eventi catastrofici collegati all'alluvione di Firenze del 1966 segnano poi un momento di grande interesse per la salvaguardia dei beni culturali e aprono per l'Italia nuovi spazi di ricerca applicati ad essi. Anche in diversi paesi europei e negli Stati Uniti vengono avviati i primi studi sistematici sul biodeterioramento.

Negli anni Settanta e Ottanta numerosi studiosi danno un notevole impulso a questa disciplina. Una rassegna delle personalità che in quegli anni hanno, nei loro paesi, iniziato la ricerca nel campo del deterioramento biologico finalizzato alla conservazione del patrimonio culturale, viene presentata nel volume "Scripta volant", edito dall'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna (IBC) nel 1986, testo pubblicato in occasione dell'omonima mostra sul deterioramento dei beni archivistici e librari tenutasi in varie città italiane e straniere[14].

Tornando alla definizione di "biodeterioramento", ancora oggi ritenuta la più rispondente, è quella proposta da H.J. Hueck, del Centraal Laboratorium-TNO a Delft in Olanda, alla fine degli anni Sessanta. Tale definizione sarà quella universalmente accettata: "Any undesirable change in the properties of a material caused by the vital activities of organisms", tradotta come: "Qualsiasi cambiamento indesiderato nelle proprietà dei materiali causato dall'attività vitale degli organismi"[15].

Ancora Hueck[16] afferma che il fenomeno del biodeterioramento è molto complesso e gli effetti di un attacco biologico implicano un danno meccanico e un conseguente indebolimento funzionale del substrato. Gli effetti di questi cambiamenti in matrici organiche e inorganiche provocano danni spesso irreversibili su beni dall'enorme valore storico e artistico, con costi onerosi per cure e salvaguardia. Nel caso dei materiali scrittori, ad esempio, il danno li rende inadeguati alla consultazione perché resi insalubri e spesso bisognosi di difficili e costosi interventi di restauro inficiando il loro valore economico[17].

Spesso il termine biodeterioramento si sovrappone a quello di biodegradazione, processo naturale fondamentale dei microrganismi in grado di decomporre la materia complessa in composti elementari e stabili (quali l'anidride carbonica e l'acqua): un "ciclo positivo" indispensabile per il rilascio di sostanze organiche nell'ambiente nuovamente riutilizzabili per costruire molecole complesse. La biodegradazione come trasformazione demolitiva si configura quindi quale processo di grande importanza per il mantenimento degli equilibri ecologici del Pianeta.

Come chiaramente asseriscono ulteriormente Eggins e Oxley (2001)[18], il biodeterioramento è semplicemente quella parte dell'intero ciclo vitale che l'uomo desidera temporaneamente arrestare o rimuovere dalla sua esperienza perché rappresenta l'aspetto meno desiderabile del riciclo dei materiali in natura.

Il concetto, ormai accettato in ambito internazionale, definisce il biodeterioramento come l'espressione di molteplici fattori correlati. Ogni fattore risulta essere condizione necessaria, ma non sufficiente, perché si verifichi tale fenomeno che di fatto è il risultato dell'interazione tra: presenza e attività dei vari biodeteriogeni, parametri ambientali (principalmente temperatura, umidità relativa, radiazioni luminose, flusso d'aria), caratteristiche chimico-fisiche dei materiali costitutivi (grado di biodegradabilità) e loro scambio termodinamico con l'ambiente, stato di conservazione. Anche gli agenti biologici che fanno parte del particolato aerodisperso nell'aria e depositato sulle superfici sono in grado di produrre danni sui differenti manufatti a determinate condizioni ambientali.

L'aggressione microbica da una fase iniziale di deposito, semplice relazione fisica, può comportare un primo attacco superficiale (es. produzione di micelio fungino visibile anche a occhio nudo). Successivamente, se persistono condizioni microclimatiche e interazioni biodeteriogeno-substrato favorevoli, si può arrivare a una vera e propria colonizzazione con una variegata fenomenologia di danni. Molti substrati vengono attaccati biochimicamente dai microrganismi saprotrofi che ne utilizzano i componenti come nutrimento (es. rottura della molecola di cellulosa con assimilazione dei frammenti fino ai componenti elementari di carbonio e idrogeno). Si possono verificare anche altri processi come la produzione di metaboliti colorati oppure altri fenomeni vitali non correlati alla nutrizione (come la corrosione del ferro da parte dei batteri solfato riducenti)[19].

Nonostante siano molte le specie saprotrofe in grado di decomporre tali composti, danneggiando le fotografie anche in maniera molto grave, esistono condizioni capaci di impedire o quanto meno rallentare l'instaurarsi del biodeterioramento, come illustrato in tabella 9.1.

Tabella 9.1 – Condizioni in cui il fenomeno del biodeterioramento non si verifica [tradotta e rielaborata da: Florian (1993)[20]].

IL BIODETERIORAMENTO NON AVVIENE SE…	AD ESEMPIO QUANDO…
Il materiale è inaccessibile ai microrganismi.	Vengono attuate le migliori condizioni di conservazione.
Risulta assente uno specifico fattore di sviluppo.	L'acqua non è disponibile nell'ambiente o nel substrato.
L'ambiente macro e/o micro ostacola lo sviluppo del biodeteriogeno.	Sono presenti inibitori di sviluppo internamente ai materiali o nell'ambiente (inibitori chimici).
L'agente microbiologico dannoso è inattivo.	L'eccessivo calore o il freddo estremo, quali fattori ambientali, possono inibire lo sviluppo microbiologico.
La composizione chimico-fisica del materiale è inadatta all'attacco biologico.	La cellulosa è acetilata. Le catene di idrocarburi semplici sono attaccabili dai microrganismi al contrario di quelle ramificate (il polietilene con le stesse catene di idrocarburi non risulta a oggi attaccato da microrganismi).
Il microrganismo non è in grado di attaccare uno specifico materiale.	Risulta ipotizzabile la mancanza di una idonea catena enzimatica abile alla degradazione.

9.2 Caratteristiche generali dei microrganismi

Gli organismi viventi, secondo la teoria del biologo inglese Cavalier-Smith (2004)[21], rivisitata nel 2010, sono compresi in due domini: Prokaryota (Archaea e Bacteria) ed Eucaryota (organismi superiori sia unicellulari come i protozoi sia pluricellulari a cui appartengono i funghi microscopici). Tale teoria succede a quella di Carl Woese, biologo statunitense, il quale insieme a George Fox ridisegna l'albero della vita proponendo prima uno schema a sei regni (1977) e successivamente (1990) una organizzazione di tre domini (Archaea, Bacteria e Eucarya), rivoluzionando così la teoria di Robert Harding Whittaker. Statunitense anche lui, Whittaker aveva suddiviso, negli anni Sessanta, l'albero in cinque regni: Monera, Protista, Fungi, Plantae, Animalia.

Dal punto di vista nutrizionale i microrganismi sono eterotrofi (i batteri anche autotrofi), in grado di colonizzare diverse tipologie di materiali. Tutti i substrati metabolizzabili possono quindi fungere da nutrienti. I microrganismi presenti negli ambienti di conservazione *indoor* sono usualmente saprotrofi, poiché si nutrono di materiale organico morto, e hanno un ruolo importante nella decomposizione della sostanza organica. La cellulosa è il polimero più abbondante sulla terra e la sua demolizione continua da parte dei microrganismi garantisce il riciclo della materia organica[22].

Gli ambienti *indoor* antropici, come biblioteche e archivi, rappresentano in chiave ecologica un ambiente ottimale per i colonizzatori primari come i microrganismi. In tali luoghi, infatti, essi trovano sicuramente condizioni ideali al loro sviluppo offrendo anche spazio ambientale ai colonizzatori secondari, come gli acari e gli insetti, se non intervengono elementi perturbatori ad interrompere la sequenza vitale.

Unicellulari, procarioti, dalla morfologia eterogenea (i più diffusi nell'ambiente *indoor* sono rappresentati da forme bastoncellari, detti anche bacilli, o approssimativamente sferiche – cocchi – fig. 9.1), i batteri hanno una parete cellulare molto resistente protettiva il cui costituente principale è il peptidoglicano. Si riproducono asessualmente per scissione binaria o attraverso la produzione di spore. Fanno parte dei batteri anche gli Attinomiceti, forme unicellulari a bastoncino, corto o lungo, spesso a filamento molto lungo e sottile (ø 0,5–1 µm), ramificato a monopodio, che formano filamenti ramificati presentando una morfologia simile al micelio fungino e che possono produrre spore dette artrospore. Responsabili della decomposizione e del riciclaggio delle sostanze organiche del suolo, sono in grado di digerire cellulosa, amidi e altri polisaccaridi e vivono in gruppi in aree con poca competizione e dall'attività di colonizzazione primaria producono nutrienti utilizzabili da colonizzatori secondari. Tra i colonizzatori dei materia-

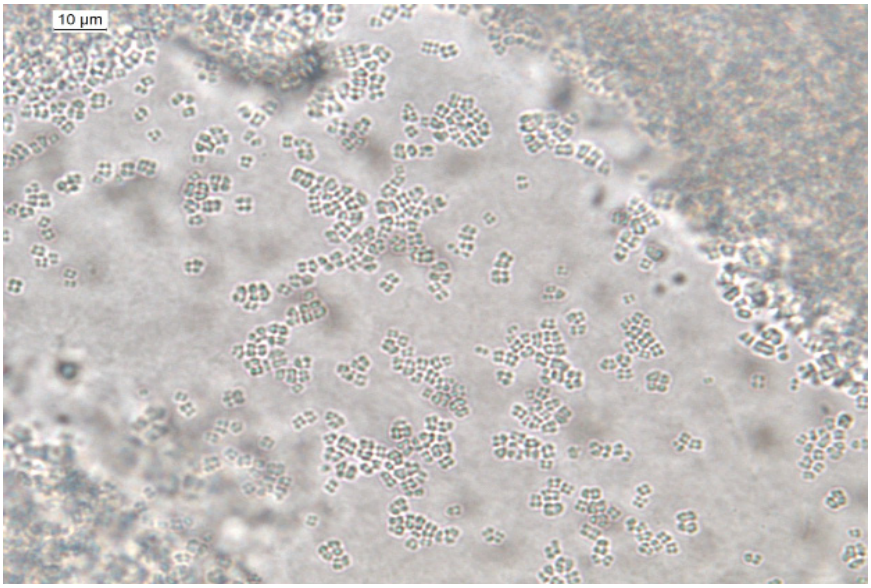


Fig. 9.1

Caratteristica disposizione dei batteri nello spazio: tetradi (cocchi uniti in gruppi di quattro). Osservazione al microscopio ottico 100x a immersione

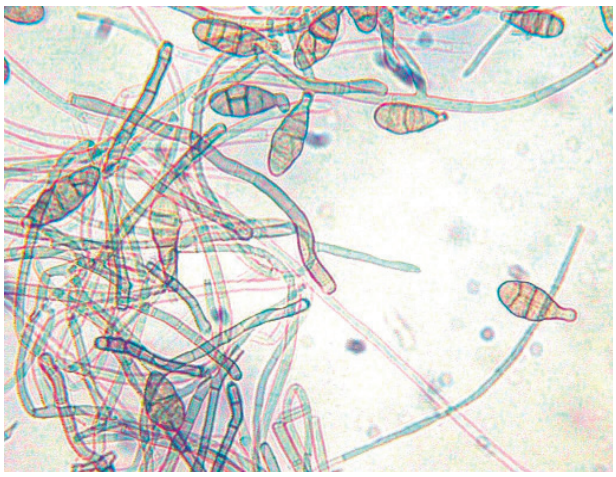




Fig. 9.2

Micelio e conidi settati di *Alternaria* sp. al microscopio ottico (in alto a sn)

Fig. 9.3

Colonia fungina tipicamente circolare al microscopio ottico (in alto a dx)

Fig. 9.4

Conidioforo e conidi di *Aspergillus hollandicus* al microscopio ottico (in basso)

li cartacei si distinguono i cellulosolitici primari, specializzati nella degradazione della cellulosa, e facoltativi, capaci di utilizzare anche altri composti organici. In termini generali negli ambienti conservativi il numero delle specie batteriche coinvolte risulta minore, a causa delle maggiori esigenze idriche rispetto a quelle dei microfunghi.

I funghi fanno parte del regno dei Fungi o Mycota e sono classificati in cinque divisioni sulla base degli studi filogenetici[23]: Chytridiomycota, Zygomycota, Basidiomycota Glomeromycota e Ascomycota (con un ruolo importante nel deterioramento dei beni culturali), a cui si aggiungono i Deuteromycota o Funghi Imperfetti che non presentano riproduzione sessuale (comprendono la maggior parte di funghi patogeni per l'uomo)[24]. Alcuni tra i più frequenti e importanti deteriogeni dei materiali costitutivi i beni culturali (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium* ecc.) appartengono a quest'ultima divisione.

I funghi, unicellulari e pluricellulari, sono masse complesse di filamenti molto sottili tubolari, detti ife, che nel loro insieme costituiscono il micelio. Le singole ife possono essere divise in compartimenti da setti trasversi come in *Alternaria* sp. (fig. 9.2) e, ramificandosi e divergendo le une dalle altre, conferiscono il tipico contorno circolare alla colonia[25] come mostrato nella figura 9.3. Essi possiedono una parete cellulare rigida formata in prevalenza da β-glucani e in quantità minore da proteine e lipidi; tipicamente presentano chitina (caratteristica anche della parete cellulare batterica, dell'esoscheletro degli insetti e di altri artropodi e assente nei vertebrati), polimero di N-acetiglucosamina[26].

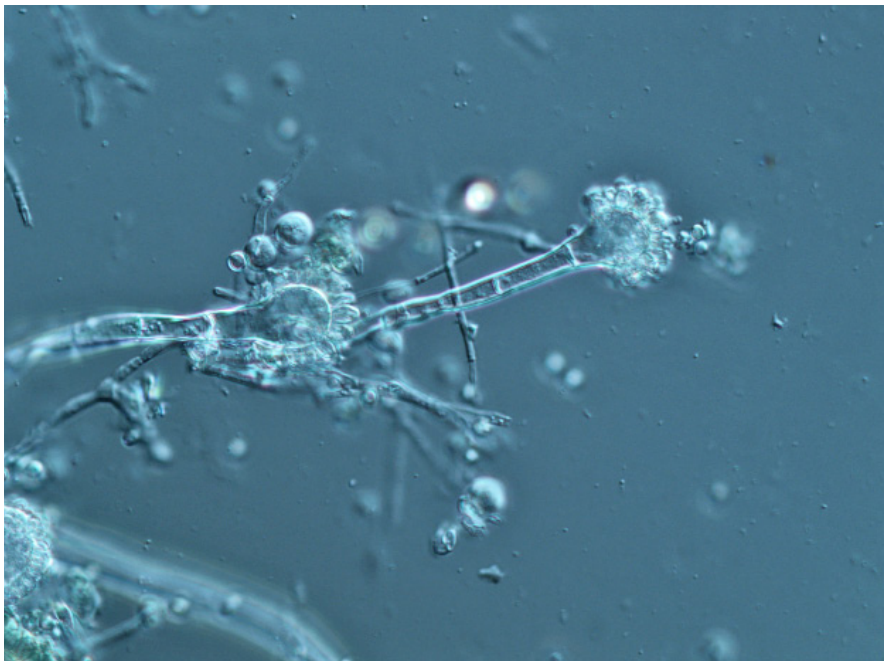




Fig. 9.5

Peritecio di *Chaetomium globosum* coltivato su carta alga, osservazione al microscopio ottico (ingrandimento 200 µm). La carta alga è una carta ecologica il cui impasto fibroso è costituito dal 30% di fibre riciclate selezionate (pasta chimica di conifera e latifoglia) e di fibre vergini *Chlorine Free* (ECF) provenienti da piantagioni che utilizzano processi controllati di alghe integrali ricavate dalla Laguna di Venezia (in alto)

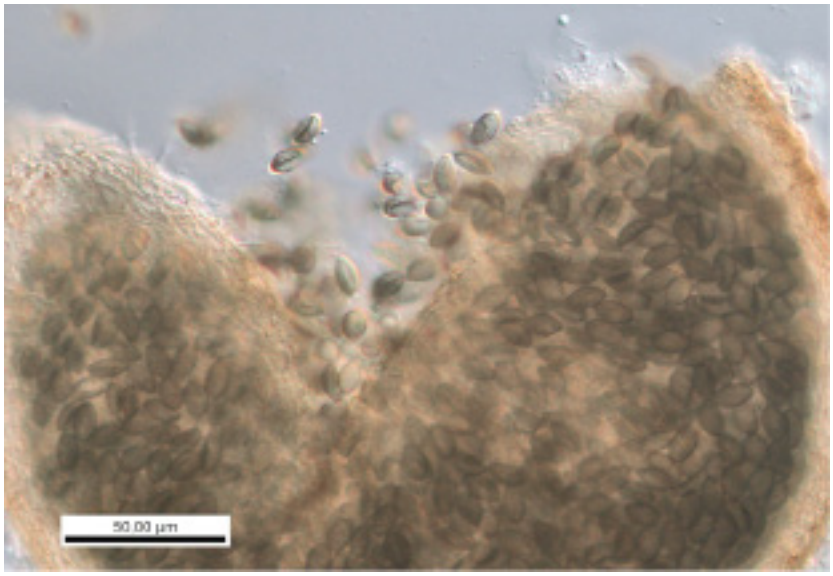


Fig. 9.6

Cleistotecio di *Eurotium* sp., dalla tipica forma sferica, osservazione al microscopio ottico (a lato)

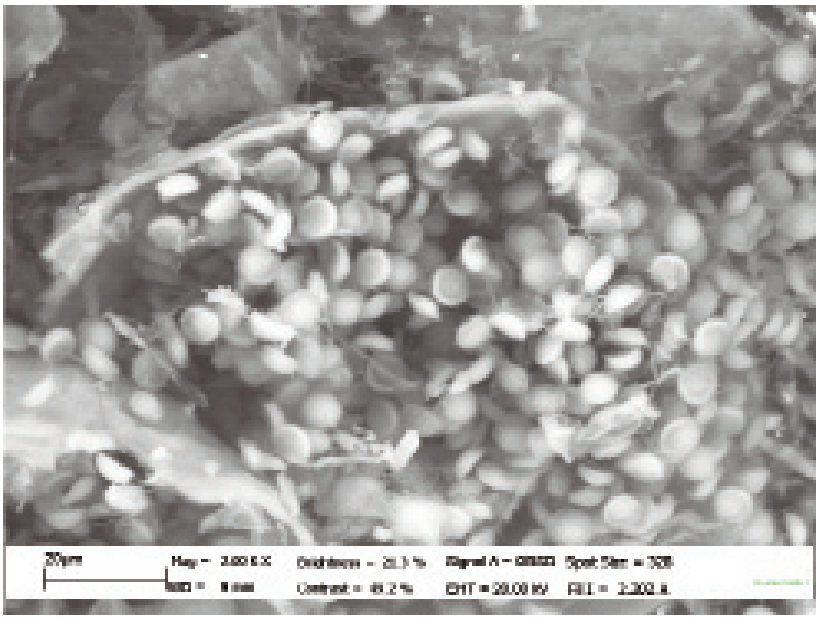


Fig. 9.7

Cleistotecio (corpo fruttifero) con ascospore di *Eurotium* sp. (fase perfetta, sessuale di *Aspergillus*). Divisione: Ascomycota. Tutte le specie di *Eurotium* sono xerofile. Immagine VP-SEM (in basso)



Fig. 9.8

Esemplare di acaro in una colonia di *Penicillium* sp. su terreno colturale. Osservazione al microscopio ottico

La riproduzione, che può avvenire per via sessuale e asessuale, si può presentare in diversi momenti del ciclo vitale[27]. Le spore, dalla forma generalmente rotonda od ovale, si distaccano dall'ifa o dal corpo fruttifero (in figura 9.4 visibili conidiofori e conidi di *Aspergillus hollandicus*) per essere disperse con differenti modalità; nella riproduzione asessuale, la più frequente, le spore sono chiamate conidi. Le spore derivanti da riproduzione sessuale sono chiamate meiospore e sono distinte in zigospore, negli Zygomycota, ascospore negli Ascomycota, basidiospore nei Basidiomycota. Le ascospore sono prodotte in ascocarpi, corpi fruttiferi, di varia forma denominati: apoteci (completamenti aperti a forma di coppa), periteci (provvisti di apertura apicale – ostiolo - fig. 9.5), cleistoteci (chiusi di forma sferica – figg. 9.6 e 9.7). Il ciclo vitale di un fungo inizia nel momento in cui la spora, su un supporto idoneo, germina producendo un'ifa vegetativa; il micelio che si viene a formare entra in contatto con il substrato aderendovi e traendone nutrimento grazie all'azione di enzimi litici. I funghi si nutrono, infatti, assorbendo elementi che provengono dall'ambiente circostante, compiendo quindi la loro crescita, sia sopra al substrato, sia al suo interno. Le ife secernono gli enzimi digestivi che rompono i legami di substrati anche complessi fino a giungere a sostanze più semplici che possono poi entrare nelle ife stesse.

La contaminazione di un bene può derivare dall'aerosol atmosferico, dalla polvere depositata, da materiali contaminati e da organismi portatori quali: uomo, insetti (es. gli Psocoptera sono commensali abituali delle comunità ecologiche costituite da specie fungine), acari[28] (fig. 9.8).

Spore e conidi vengono principalmente veicolati dall'esterno negli ambienti *indoor*, per mezzo del particolato atmosferico, con meccanismi passivi di diffusione (dovuti alla gravità) (vedi Capitolo 6) o grazie a correnti convettive dell'aria[29] che trasportano le strutture riproduttive anche per distanze molto elevate. Da tenere in considerazione che nel trasporto delle particelle molto piccole, di varia origine, hanno un ruolo le precipitazioni atmosferiche che favoriscono la formazione di aerosol. Infatti tali particelle possono esssere veicolate dalle molecole di vapore acqueo essendo state inglobate nelle gocce di nebbia o nei cristalli di ghiaccio e conseguentemente portate al suolo. Queste minuscole goccioline possono imprigionare inquinanti biologici, anche patogeni, o allergeni, che poi si possono risollevare in atmosfera grazie a specifici meccanismi fisici. Le particelle aerodisperse vengono depositate sulle superfici con differenti meccanismi come è possibile vedere in figura 9.9.

I microrganismi, comprese le forme vegetative, in atmosfera sono presenti in densità relativamente basse in quanto poco resistenti all'azione della luce solare (UV), alla disidratazione e allo shock termico. Essi depositatisi sulle superfici si accumulano nella polvere stratificata e le spore possono rimanere in uno stato di quiescenza per lunghi periodi finché condizioni ambientali favorevoli ne permetteranno germinazione e sviluppo[30].

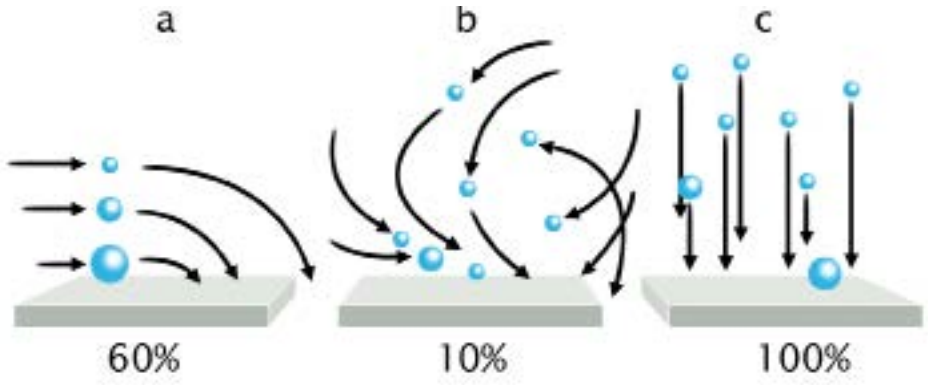


Fig. 9.9

Meccanismi di deposizione delle particelle aerodisperse: a) in situazioni di flusso laminare, b) in presenza di turbolenze d'aria, c) in situazioni di aria ferma

9.3 Fattori ecologici

Il ciclo di vita dei microrganismi è influenzato dalla disponibilità delle risorse nutritive e dai fattori ambientali tra i quali hanno un ruolo prevalente la temperatura, l'umidità, il pH del mezzo, la luce e l'ossigeno. Per ogni parametro i microrganismi hanno un *optimum* al di sotto e al di sopra del quale subiscono una influenza negativa nell'espletamento di tutte le funzioni vitali.

Per i microrganismi le esigenze nutrizionali sono rappresentate da macroelementi con un ruolo fondamentale nella struttura e in altre funzioni essenziali (produzione di carboidrati, lipidi, proteine e acidi nucleici) di cui hanno bisogno in quantità relativamente grandi (C, O, H, N, S, P e K, Ca, Mg, Fe) e da microelementi in tracce (Mn, Zn, Co, Ni, Mo, Cu) che entrano a far parte di enzimi e cofattori.

Fattore determinante per la cinetica delle reazioni chimiche e le attività metaboliche, e conseguentemente per lo sviluppo microbico, è la temperatura. In base alle esigenze termiche i microrganismi si suddividono in psicrofili amanti del freddo, mesofili e termofili amanti del caldo. Mentre il limite superiore per la crescita di un fungo si aggira sui 62–65°C, tra i batteri figurano specie in grado di vivere e moltiplicarsi in modo ottimale a temperature maggiori (70–80°C) e in particolare alcuni archebatteri definiti ipertermofili possono crescere a temperature di oltre 100°C[31]. In generale i microrganismi sono presenti dunque in ogni condizione climatica anche se la temperatura ideale per lo sviluppo dei saprofiti si attesta abitualmente intorno ai 30°C[32].

In merito all'ossigeno[33] i microrganismi vengono distinti in: aerobi se utilizzano l'ossigeno alle normali concentrazioni per le funzioni respiratorie [microaerofili quando vengono danneggiati dal normale livello atmosferico di ossigeno (20%) e per crescere necessitano di concentrazioni variabili fra il 2% e il 20%], e in anaerobi se vivono in ambienti in cui l'ossigeno è presente in concentrazioni inferiori al 5% (in profondità nei materiali o nel suolo). Tra gli anaerobi vi sono i facoltativi che non necessitano di O_2 per svilupparsi. Mentre i batteri per la quasi totalità sono aerobi e anaerobi facoltativi, i funghi si classificano come aerobi obbligati anche se un certo numero di specie, soprattutto lieviti, sono aerobi/anaerobi facoltativi.

La luce per i microrganismi eterotrofi non è un fattore limitante dal punto di vista nutrizionale ma può condizionare alcune funzioni vitali. In generale non determina grandi variazioni nella crescita anche se, in diverse specie fungine, sembra favorire formazione e germinazione delle spore, stimolare la produzione di pigmenti come la melanina presente all'interno delle ife e la produzione di macchie sui supporti.

Considerazione da fare è che il fotodeterioramento, provocando la rottura dei legami chimici delle macromolecole di cellulosa, ne aumenta la suscettibilità all'attacco biologico.

In tabella 9.2 sono riassunte le caratteristiche ecologiche sulle risposte di funghi e batteri, e per confronto di artropodi, ai principali fattori ambientali.

Tabella 9.2 – Risposte dei microrganismi (e artropodi) ai parametri ambientali.

PARAMETRI AMBIENTALI	BACTERIA	FUNGI*	ARTHROPODA
Aria (richiesta di ossigeno)	Comprendono: **aerobi**, **(aerobi obbligati**, **aerobi facoltativi)**, **microaerofili**, **anaerobi**, **(anaerobi obbligati**, **anaerobi facoltativi)**.	**Aerobi obbligati** e **aerobi facoltativi** (es. *Aspergillus fumigatus*)[34]. Mediamente *optimum* di O_2 al 25%. Una concentrazione del 2% è il livello minimo richiesto per la dormienza dei funghi[35]. Alcune specie, soprattutto i lieviti, sono **anaerobi facoltativi.** I funghi possono essere anche **microaerofili** (utilizzano O_2 solo a concentrazioni ridotte).	Essenziale.
Disponibilità di acqua ** **(UR%)**	>80%	>60%	In relazione alle fasi di sviluppo, in generale i valori ottimali sono: 70–90%.
Temperatura	**Psicrofili** T tra 0–20°C (**psicrofili facoltativi** min 0–7°C e max 35°C); **mesofili** T ottimale tra 20-–45°C (min 15-20°C e max ≤45°C); **termofili** T ottimale tra 55–65°C (min 45°C)[36]. I **termofili estremi** o **ipertermofili** possono crescere anche oltre 100°C[37].	La maggior parte **mesofili**: 10–35°C (valori ottimali 20–30°C)[38]. Molte specie possono crescere a valori più alti o più bassi[39]. Pochissimi sono **termofili** con T min di 20°C e max di 50–60°C (es. *Aspergillus fumigatus* capace di crescere da 12 a 55°C) e alcuni **psicrofili**: da 0 (>0) a 20°C[40].	In genere temperature favorevoli sono quelle comprese tra 20–30°C.
Luce	Non essenziale.	Non essenziale.	In relazione alla specie. Ordini di interesse: Lepismatidae, Blattodea e Isoptera generalmente **lucifughi** (es. *Reticulitermes lucifugus*), Coleoptera Anobiidae e Dermestidae generalmente **fototropici**.

* Negli ultimi anni si sono moltiplicate le prove che anche gli eucarioti (come i funghi), possono avere caratteristiche di estremofilia (sopravvivenza in condizioni proibitive) non minori di quelle dei procarioti[41].
** L'umidità relativa dell'aria e la temperatura delle superfici sono i principali fattori che determinano l'apporto idrico per la microflora.

Tra i fattori che maggiormente influenzano il ciclo vitale dei microrganismi vi è l'acqua in tutte le sue forme: da quella contenuta nel vapore acqueo presente nell'aria (misurato come umidità relativa – vedi tab. 9.1) a quella presente nei materiali sotto forma di "acqua libera" nota come attività dell'acqua – a_w (caratteristica fisica introdotta da Scott nel 1957[42], indica la quantità d'acqua presente in un determinato prodotto, libera da particolari legami con gli altri componenti e quindi realmente disponibile) che può essere immediatamente utilizzabile per i vari processi biologici. L'attività dell'acqua può assumere valori che vanno da 0 (sostanza secca al 100%) ad 1 (acqua pura).

$$a_w = P/P_o \qquad (9.1)$$

P = pressione di vapore di acqua nel prodotto
P_o = pressione di vapore acqua pura per una medesima temperatura

L'acqua presente in ambiente può non essere però disponibile per queste funzioni in quanto bloccata da forze che ne impediscono l'utilizzo. La somma di queste forze si esprime come potenziale idrico Ψ_w, come quantità di energia libera associata all'acqua = potenziale per compiere lavoro:

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g + \Psi_m \qquad (9.2)$$

Ψ_s = potenziale osmotico (forze legate ai soluti)
Ψ_p = turgore
Ψ_g = potenziale di gravità
Ψ_m = potenziale di matrice (forze di legame fisico)

Tutti gli organismi viventi richiedono un *input* continuo di energia libera (energia disponibile in condizioni isotermiche) per mantenere e ricostruire le strutture cellulari e i loro stati di organizzazione, per crescere e riprodursi.

Generalmente i microfunghi richiedono valori di a_w compresi tra 0,65 (al di sotto di 0,60 avviene la denaturazione del DNA) e 0,99[43], ma la maggior parte cresce a valori >0,80; numerose specie fungine sono comunque in grado di svilupparsi a livelli molto bassi di umidità come ad esempio gli xerofili e gli xerotolleranti che sopportano condizioni di estrema disidratazione. Per i batteri invece i valori devono essere >0,95[44]. La relazione tra acqua e substrato può essere molto complessa e tale da determinare la natura della comunità microbica che si svilupperà nell'ecosistema. Piccole differenze di costituenti nei substrati: fonti di C come zuccheri o amido o anche la lignina, possono essere determinanti per la formazione di micelio o la produzione di corpi fruttiferi nei funghi.

Anche il pH, agendo direttamente sulle attività enzimatiche, è in grado di influenzare la crescita dei microrganismi e poiché ogni specie tollera un intervallo di pH di circa 3–4 unità e possiede un valore ottimale di crescita, la flora microbica può essere suddivisa in: acidofila, neutrofila e alcalofila. Mentre la maggior parte dei batteri risulta neutrofila, i microfunghi preferiscono ambienti debolmente acidi (pH tra 4 e 6)[45]. Variazioni marcate di pH possono danneggiare i microrganismi disgregando la membrana plasmatica o inibendo l'attività degli enzimi o delle proteine coinvolte nel trasporto di membrana.

Per completare, vengono riassunte nella tabella 9.3 le caratteristiche ecologiche che riguardano le risposte da parte di funghi e batteri, e sempre per confronto quelle degli artropodi, ai principali fattori intrinseci (substrati).

Tabella 9.3 – Risposte di microrganismi (e artropodi) ai fattori intrinseci.

FATTORI INTRINSECI (substrato)	BACTERIA	FUNGI*	ARTHROPODA
Attività dell'acqua (a_w)	a_w>0,95[46]	a_w= 0,65–0,99[47] La maggior parte cresce ad a_w>0,80. Numerosi sono in grado di crescere a livelli molto bassi di umidità: **xerotolleranti**. Gli **xerofili** prediligono invece condizioni di aridità <0,85[48] (es. *Eurotium halophilicum* – Anam. *Aspergillus halophilicus* – fig. 9.10[49]).	Non determinante.
Concentrazione salina (NaCl)	**Alofili** (NaCl>0,2 M) capaci di svilupparsi in ambienti con bassa disponibilità d'acqua e alta concentrazione di sali (NaCl). Batteri e archeobatteri[50] **alotolleranti** tollerano invece tali concentrazioni. **Alofili estremi** (2 M–6,2 M)[51]. La maggior parte sono **non alofili**.	**Alotolleranti** ma anche **alofili**[52] (es. *Stachybotrys chartarum*[53]). Alcuni sono **alofili** e xerofili insieme.	Non determinante.
pH (supporto)	Generalmente la maggior parte è **neutrofila**.	In genere **acidofili** preferiscono ambienti debolmente acidi (4–6)[54]. Il *range* di crescita è però molto più ampio (2,0–9,0)[55].	Non determinante.

* Responsabile di specifiche contaminazioni su materiali archivistici e librari all'interno dei locali di deposito, realtà emersa e riconosciuta negli ultimi anni (vedi testo).

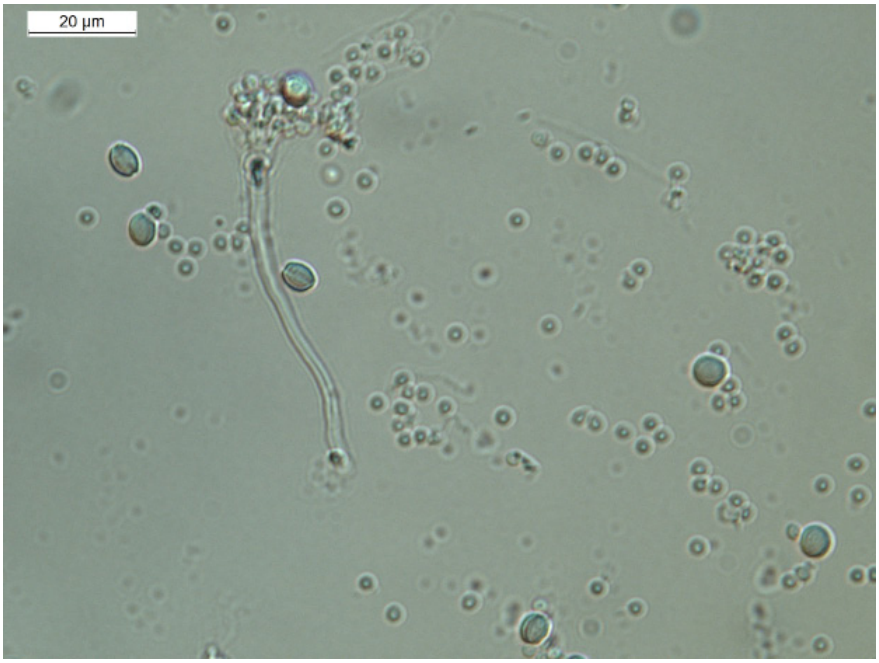


Fig. 9.10

Conidioforo e ascospore di *Eurotium halophilicum* al microscopio ottico. Il fungo, che possiede elevata tolleranza agli stress idrici (min per la crescita: a_w = 0,675 – C.M. Christensen, G.C. Papavizas, C.R. Benjamin, *A new halophilic species of Eurotium*, in *Mycologia*, 51, 1959, pp. 636–640), è stato rintracciato in diverse biblioteche italiane. Produce macchie evidenti su pelle, pergamena, carta ecc. (v. nota bibliogr. 49)

9.4 Meccanismi di danno

I meccanismi con cui i microrganismi compiono la loro azione degradativa possono essere di natura biofisica e/o biochimica, attivandosi contemporaneamente, o in fasi diverse, in relazione ai biodeteriogeni, al tipo di substrato e alle condizioni ambientali. A partire da una semplice fase iniziale di deposito, definibile come sola "relazione fisica", si può passare da un primo contatto superficiale, in presenza di condizioni microclimatiche e interazioni biodeteriogeno-substrato favorevoli, a una vera e propria colonizzazione con una variegata fenomenologia di danni. I funghi, ad esempio, aderiscono al supporto con le ife riuscendo a penetrarvi e lo sviluppo del micelio vegetativo può determinare pressioni tali da indurre frammentazioni, con possibili distacchi di parti determinando così la perdita dell'integrità dei beni. Questo tipo di danno si verifica, in modo particolare e spesso in maniera marcata, nelle fotografie con supporto cartaceo; le stratigrafie mostrate nelle figure 9.11–9.14 ci offrono una evidenza di come questa penetrazione delle strutture del microfungo siano in grado di produrre micro-/macro-decoesionamenti nel delicato supporto.

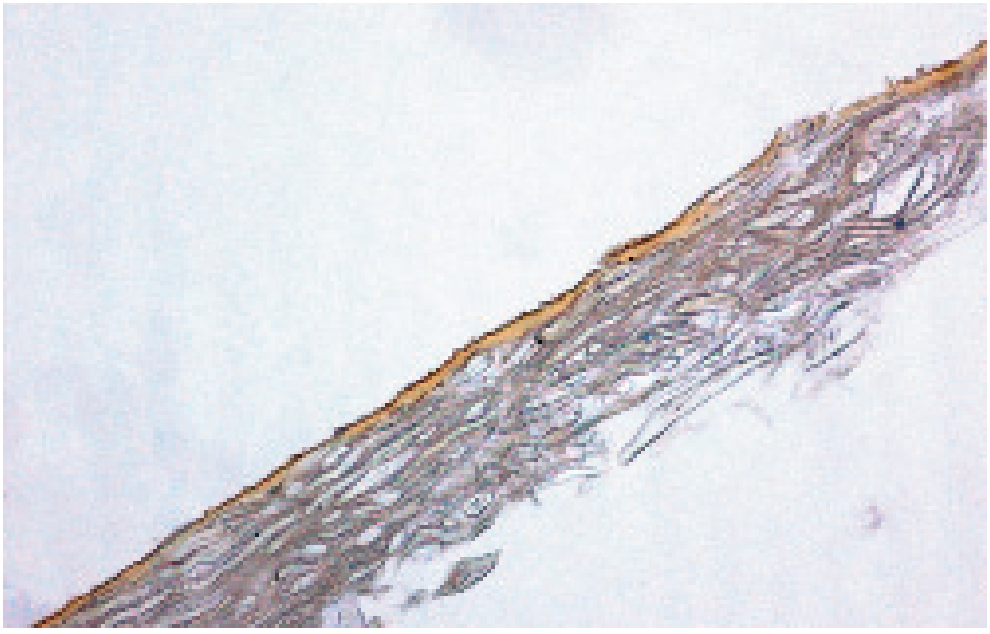
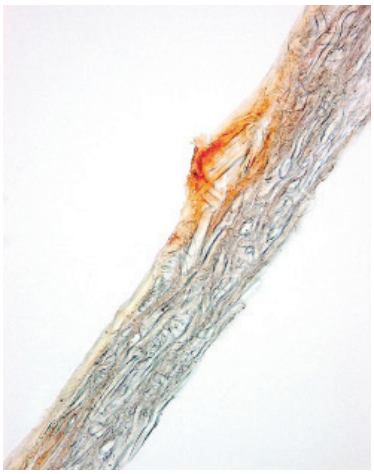


Fig. 9.11

Sezione stratigrafica di stampa all'albumina, primi Novecento, priva di danno. Ingrandimento al microscopio ottico (a lato)



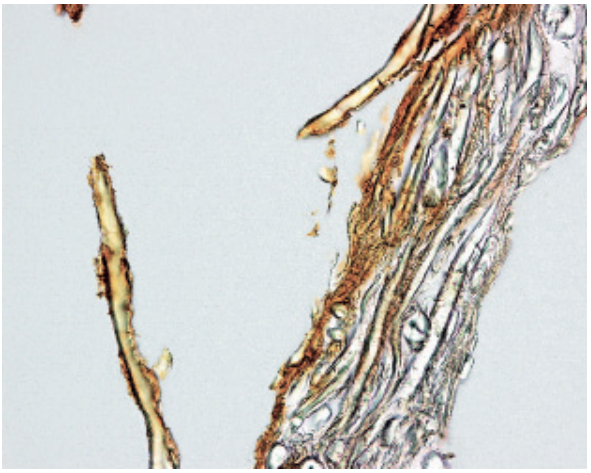


Fig. 9.12

Sezione stratigrafica di stampa all'albumina, primi Novecento. Ingrandimento al microscopio ottico che mostra un attacco da parte di microfunghi. Si possono evidenziare le fibre di cellulosa del supporto cartaceo attraversate dalle strutture del microrganismo e la degradazione accentuata con il conseguente distacco delle fibre di cellulosa (in basso a sn)

Fig. 9.13

Sezione stratigrafica di stampa all'albumina, primi Novecento. Si evidenzia un distacco delle fibre di cellulosa (in basso a dx)

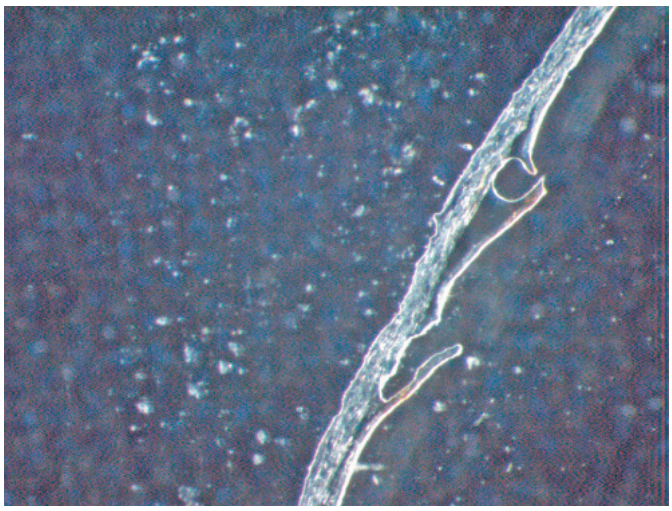


Fig. 9.14

Ingrandimento al microscopio ottico di sezione di stampa all'albumina (vedi fig. 9.11) che evidenza il distacco delle fibre di cellulosa

La degradazione enzimatica di materiali organici è uno tra i meccanismi più importanti per l'induzione del danno e una diversa gamma di enzimi ne sono coinvolti. Anche la produzione di acidi organici causa, ad esempio, reazioni idrolitiche con rottura dei legami β-glucosidici della molecola della cellulosa e conseguente depolimerizzazione. Inoltre, la produzione di pigmenti può provocare nei supporti cartacei macchie dalla morfologia più o meno irregolare e dalla differente colorazione, in base alle caratteristiche del supporto o alla contemporanea presenza di vari microrganismi.

In realtà, per il principio d'esclusione competitiva (o principio di Gause), se due specie coesistono in uno stesso *habitat* (luogo con caratteristiche biotiche/abiotiche che permettono lo sviluppo di varie popolazioni) è perché presentano nicchie ecologiche separate e nel momento in cui esse mostrano nicchie sovrapposte una delle due prenderà il sopravvento sull'altra, fino alla sua eliminazione. In diversi casi la co-presenza di più specie può risultare da colonizzazioni avvenute in tempi diversi o dalla creazione di vere e proprie comunità microbiche che interagiscono tra di loro. I microrganismi rimuovono infatti nutrienti dall'ambiente circostante e vi liberano prodotti metabolici di scarto che in molti casi possono costituire elemento nutrizionale per altri microrganismi. Quindi lo sviluppo di alcuni biodeteriogeni può creare le condizioni ideali per la crescita di altre specie dando luogo così ad una successione ecologica con sviluppo di comunità (cenosi) più complesse.

Oltre ai prodotti metabolici, sono le pigmentazioni stesse di micelio e spore, come nel caso dei microfunghi, ad essere percepibili come macchie. Questi danni, soprattutto di natura estetica, rappresentano il più delle volte l'aspetto maggiormente evidente del fenomeno del biodeterioramento (figg. 9.15-9.15b).

Figg. 9.15, 9.15a, 9.15b

Recto (fig. 9.15), *verso* (fig. 9.15a) e particolare (fig. 9.15b) di stampa all'albumina, fine Ottocento, con vistosi danni di origine microbica percepibili come macchie variamente colorate







Tabella 9.4 – Principali meccanismi di produzione ed evidenza del danno.

MECCANISMI DEL DANNO	
PROCESSI BIOFISICI	**PROCESSI BIOCHIMICI**
Adesione I microrganismi iniziano a colonizzare il materiale (es. i funghi con le ife aderiscono al substrato, fissandosi). Batteri, soprattutto, ma anche funghi possono formare biofilm*, sostanza polimerica (polisaccaridi, proteine e DNA).	**Processi di assimilazione** I microrganismi utilizzano i componenti dei materiali, rimuovendoli, a scopo nutrizionale anche con l'impiego di enzimi extracellulari.
Crescita I microrganismi in presenza di substrati adeguati si sviluppano e si riproducono. Possono formare dei depositi superficiali di spessore variabile con scarsa coerenza e aderenza. Possono determinare nella fase di crescita una pressione tale da indurre frammentazioni del supporto. Nel caso dei microfunghi a volte le ife non aderiscono al substrato ma crescono a spese di altri nutrienti come ad esempio quelli contenuti nella polvere, per cui non vi è una vera e propria adesione.	**Processi di emissione (produzione di intermedi metabolici, di sostanze inibitorie e di scarto)****: – **acidi**, principalmente organici (fumarico, ossalico, succinico, malico ecc.), abbassano ad esempio il pH della carta e condizionano le dinamiche di crescita negli attacchi secondari; – **alcali**, prodotti non molto frequentemente; – **enzimi extracellulari** (es. proteasi, gelatinasi, cellulasi), degradano le molecole del substrato metabolizzando alcuni componenti (es. con rottura dei legami peptidici tra gli amminoacidi).
EVIDENZE DEL DANNO: STRUTTURALE* E/O ESTETICO****	
Decoesionamento/Distacco/Disgregazione/Polverizzazione In seguito ad azione meccanica i materiali possono perdere la loro coesione con caduta di materiale e distacchi sotto forma di polvere, di minuti frammenti o anche di parti consistenti. **Rammollimento** Solubilizzazione del substrato con perdita di consistenza (tipico della gelatina). **Compattamento** Consolidamento dei materiali cartacei in blocchi a causa di contatto con grandi quantità di acqua (allagamenti, inondazioni). I microrganismi producono oligosaccaridi e metaboliti con proprietà viscose. **Velatura** Presenza di strutture microbiche che superficialmente si diramano sul substrato formando un leggero velo dall'aspetto "polveroso". **Opacizzazione** Perdita di lucentezza e trasparenza, localizzata o diffusa, dello strato immagine o dei supporti. **Alterazione cromatica** Interessa aree ampie o localizzate manifestandosi attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta, chiarezza, saturazione, intensità (prevalentemente su supporti cartacei). **Macchia pigmentata** Si manifesta con pigmentazione localizzata di diverso colore correlata alla presenza di sostanze estranee (esempio prodotti metabolici), di metalli, ecc. o alla semplice presenza di strutture cellulari colorate, come le ife, appartenenti al microrganismo stesso a seconda della specie colonizzante o anche al pH del substrato. **Foxing** Macchie di origine sia chimica sia dovuta ad esiti di reazioni biochimiche mediate da agenti microbiologici che si manifestano sui supporti cartacei.	

* Il biofilm ha inizio dall'interazione della cellula con la superficie. Si tratta di una matrice (sostanza polimerica extracellulare EPS) consistente in un reticolo di fibre ove le cellule batteriche o fungine sono fortemente radicate.
** Da considerare anche agenti chelanti e altre sostanze biochimiche.
*** I cambiamenti delle caratteristiche meccaniche, che si verificano quando l'attacco biologico è avanzato, producono un indebolimento strutturale del substrato. Cfr. Glossario dei danni, Capitolo 13.
**** Un danno estetico determina soprattutto un impedimento visivo. Cfr. Glossario dei danni, Capitolo 13.

In tabella 9.4 sono stati riassunti i principali meccanismi con cui i microrganismi attuano la loro azione deteriogena e le più comuni tipologie di danni di natura estetica e/o strutturale. Da tenere in considerazione che in realtà non esiste una netta divisione tra danno chimico e fisico per cui in alcuni casi il deterioramento può essere scambiato per un danno di origine chimica, un danno cioè in cui non sia implicata una azione biotica.

9.5 Manifestazione del danno microbico sui materiali fotografici

Figg. 9.16, 9.16a, 9.16b, 9.16c

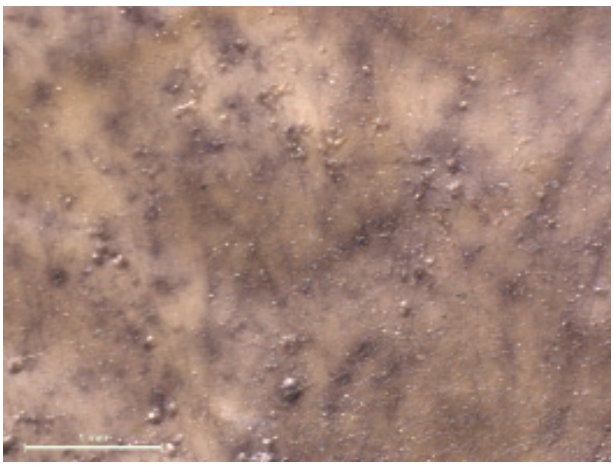
Stampa all'albumina di fine Ottocento (fig. 9.16) con attacco dovuto a comunità microbiche. Le macchie, derivanti dall'attività metabolica dei biodeteriogeni, presentano diversa morfologia ed estensione e differenza cromatica. Sono ben visibili nell'ingrandimento (figg. 9.16a e 9.16b al centro) e nelle immagini ottenute allo stereomicroscopio (fig. 9.16c in basso)

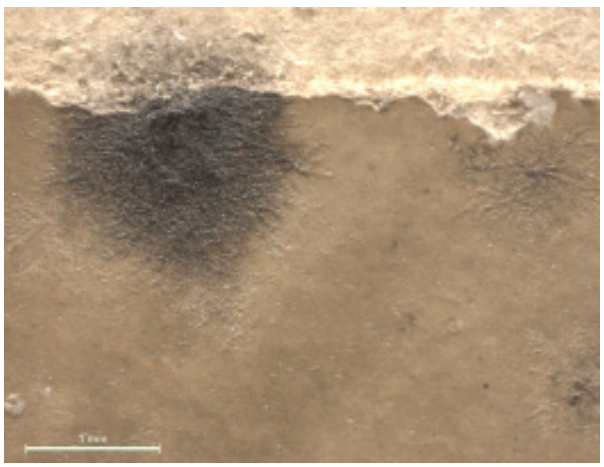
La comparsa di macchie di diversa morfologia, ampiezza e differente colorazione, che coinvolgono più o meno vistosamente differenti aree delle fotografie, rappresentano una delle forme più comuni di come si può espletare il danno da parte dei microrganismi. Nelle immagini (figg. 9.16–9.17a) sono mostrate diverse alterazioni su una stampa all'albumina e alla gelatina che mettono in evidenza la variegata manifestazione del danno microbico.



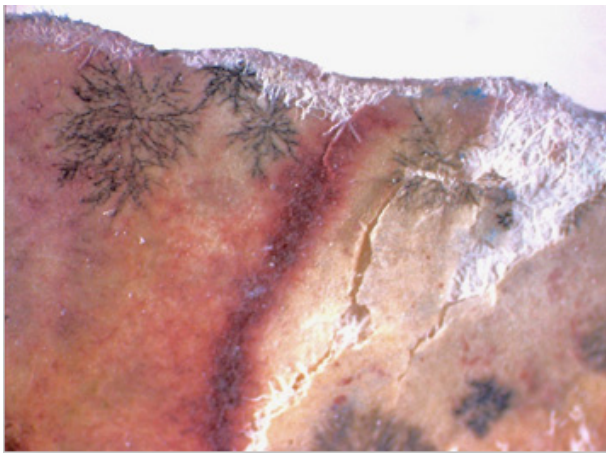
Tra i vari costituenti dei materiali fotografici predisposti a deterioramento microbico vi sono *in primis* i leganti a base proteica quali albumina e gelatina componenti dello strato immagine che per la loro natura organica risultano spesso la parte dell'oggetto fotografico più suscettibile di attacco.











Figg. 9.17, 9.17a

Stampa alla gelatina, metà Novecento (fig. 9.17), con danno da microrganismi sull'immagine e sulla busta contenitrice. Nell'ingrandimento (fig. 9.17a) si evidenziano colonie fungine dall'aspetto filamentoso ritrovate sulla parte dellimmagine a contatto con l'involucro in carta

Puškárová *et al.* (2016)[56] in uno studio su stampe all'albumina dell'Ottocento, con indagini coltura-dipendente (coltivazione in diversi terreni) e indipendente (clonaggio e sequenziamento di batteri e funghi), hanno riscontrato una sostanziale varietà microbica. I microrganismi isolati sono stati sottoposti a *screening* per le loro attività lipolitiche, proteolitiche, cellulolitiche, di catalasi e di perossidasi. La combinazione delle tecniche coltura-dipendenti/indipendenti insieme a saggi enzimatici ha rivelato la presenza di una sostanziale diversità microbica con molti microrganismi appartenenti ai generi *Bacillus*, *Kocuria*, *Streptomyces* e *Geobacillus* e ceppi fungini come: *Acrostalagmus luteoalbus*, *Bjerkandera adusta*, *Pleurotus pulmonarius* e *Trichothecium roseum.*

Abrusci *et al.* (2004)[57], affrontando il biodeterioramento della gelatina di tipo B (la tipologia maggiormente usata nella pratica fotografica), stesa su pellicole, hanno isolato batteri del genere *Bacillus* (ad esempio *B. amyloliquefaciens, B. subtilis, B. megaterium, B. pichinotyi, B. pumilus*) e della specie *Staphylococcus hominis*. L'enzima imputabile di tale danno è la gelatinasi. Tra le specie fungine sono stati isolati: *Penicillium chrysogenum, Aspergillus versicolor*, *Phoma glomerata*, *Mucor racemosus*, *Alternaria alternata*, *Aspergillus ustus*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus nidulans* var. *nidulans.*

I funghi sono in grado di deteriorare un substrato semplicemente sviluppandosi superficialmente (a seconda delle specie che compiono la colonizzazione), penetrando attraverso gli strati della fotografia in alcuni casi sino a quello di barite sottostante, quando presente, o anche al supporto secondario.

In un lavoro di Vellati *et al.* (2011), è stata verificata la capacità del fungo

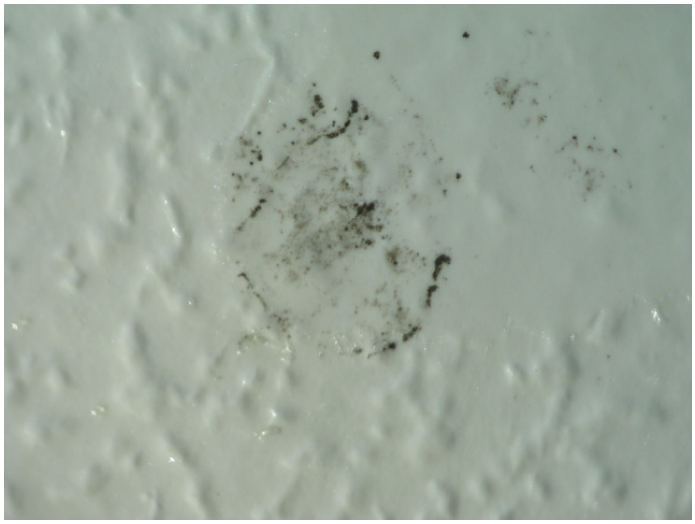




Fig. 9.18

Immagine allo stereomicroscopio di stampa alla gelatina infungata con *Aspergillus terreus* (campione sperimentale). Si nota l'assenza di idrolisi (in alto)

Fig. 9.19

Immagine allo stereomicroscopio di stampa alla gelatina infungata con *Aspergillus terreus* (campione sperimentale). Si nota la presenza di idrolisi della gelatina con comparsa dello strato sottostante di barite sottostante (in basso)

Penicillium chrysogenum, in condizioni igrometriche del 98%, di degradare la gelatina di alcune stampe fotografiche dopo inoculo di spore. Il fungo in studio ha dimostrato l'abilità di spingersi in profondità fino a metabolizzare lo strato di barite e di attraversare quello del supporto primario nonché, tramite la produzione di metaboliti, di provocare macchie anche sullo strato cartaceo[58].

L'azione dei microrganismi si mostra differente a parità di condizioni ambientali o di costituenti. Studiando infatti il differente comportamento di tre comuni deteriogeni, *Cladosporium* sp., *Aspergillus terreus* e *Penicillium expansum*, inoculati su stampe alla gelatina, Basilone *et al.* (2005) hanno riscontrato la maggiore capacità dell'*A. terreus* di idrolizzare la gelatina fino allo strato di barite[59] come è possibile ben visualizzare nelle figure 9.18 e 9.19.

L'azione deteriogena può partire dallo strato del legante ed estendersi al supporto cartaceo e al supporto secondario oppure partire da quest'ultimo e procedere verso lo strato immagine. La capacità di numerosi microrganismi di metabolizzare le proteine avviene grazie all'idrolisi determinata da enzimi proteolitici con rottura dei legami peptidici tra gli amminoacidi. In tal modo gelatina e albumina vengono scisse in frammenti proteici a più basso peso molecolare da proteasi e peptidasi (i peptidi solubili possono penetrare attraverso la parete cellulare ed essere degradati a singoli amminoacidi). Abrusci *et al.* (2006[60]; 2007[61]) in altri due studi confermano l'idrolisi operata da batteri su gelatina fotografica. In vari casi la gelatina può rigonfiarsi e ammorbidirsi arrivando quasi alla liquefazione compromettendo gravemente l'immagine.

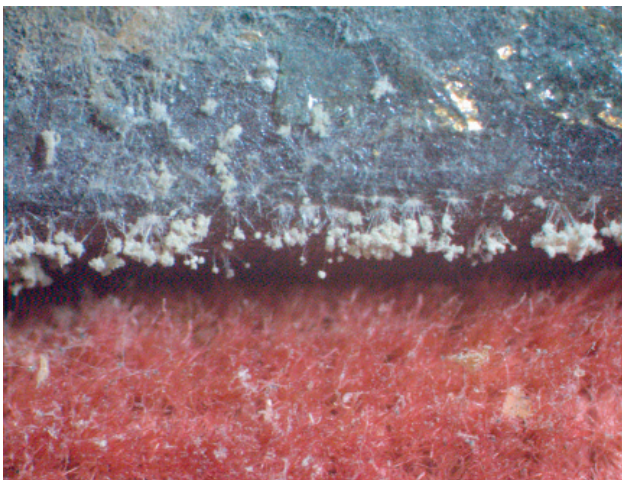
L'albumina, essendo meno igroscopica, non arriva alla liquefazione risultando quindi maggiormente resistente all'azione dell'acqua (non forma infatti un gel reversibile). Il collodio, l'altro legante largamente in uso nella pratica fotografica, per la sua natura inorganica, si conferma meno deteriorabile.

I danni più marcati si riscontrano sui supporti in carta a causa della loro igroscopicità derivante dalla composizione. La cellulosa comincia a essere degradata dopo che sono state consumate altre forme più semplici di carbonio, come le molecole dei collanti e degli additivi. Di fatto però tutti i costituenti delle fotografie, compresi i materiali di finitura, nonché dei montaggi (figg. 9.20–9.20b), possono essere soggetti ad attacco biologico.

Sebbene sia certo che alcuni funghi cellulosolitici possano idrolizzare la cellulosa nativa tramite sistemi enzimatici (complesso della cellulasi[62]) contenenti endo ed eso-glucanasi e attività di β–glucosidasi, il meccanismo attuale con il quale vengono rimossi frammenti solubili dalle aree di cellulo-







Figg. 9.20, 9.20a, 9.20b

Dagherrotipo del 1860 ca. (fig. 9.20, in alto. Nel particolare (fig. 9.20a, a lato) e nell'ingrandimento allo stereomicroscopio (fig. 9.20b, in basso) si possono evidenziare crescite di microfunghi sulla cornicetta in velluto rosso *bordeaux* (situata tra la cornicetta metallica e l'astuccio in *papier-mâché*) e sui vari elementi del montaggio. Le macchie circolari ad anelli concentrici riscontrabili sull'immagine sono "macchie redox" dette anche *redox blemishes*, dovute ad ossidazioni localizzate

sa cristallina resta tuttora ignoto. È possibile che più aree cristalline siano effettivamente solubilizzate solo da una rapida azione sequenziale delle eso ed endoglucanasi capaci di formare tra loro un complesso enzima-enzima sulla superficie delle catene di cellulosa. Oltre ad enzimi cellulosolitici vi sono altri gruppi di enzimi specifici che operano sui vari componenti della carta (pectine, amidi, emicellulose ecc.)[63].

Nel caso dell'attacco alla cellulosa, quando esso si trova in uno stadio avanzato, i danni si rivelano di natura strutturale con disgregazioni e polverizzazioni come indicato in tabella 9.3[64]. In generale tra i microfunghi deteriogeni più comuni e frequentemente isolati da materiali cartacei, come riportato in letteratura[65], figurano i ge-

neri: *Aspergillus*, *Alternaria*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Penicillium*.

In uno studio di Bogomolova *et al.* (2007)[66] analizzando stampe su carta salata e albuminata, si mostra che il deterioramento dipende soprattutto dalla capacità dei microfunghi di attaccare la cellulosa e si conferma la presenza di diverse specie di *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria* e *Chaetomium*[67].

Meccanismo biochimico riconducibile soprattutto ai funghi, come prima accennato, è la produzione di pigmenti (solubili e insolubili) che determinano nei substrati danni di entità differente. I pigmenti comprendono: endopigmenti, legati alle strutture cellulari fungine che conferiscono una colorazione ai microrganismi e di conseguenza all'aspetto delle colonie, ed esopigmenti, prodotti metabolici escreti nell'ambiente circostante in relazione alla tipologia di supporti. Le colorazioni indotte possono essere quindi dovute sia alla presenza di strutture cellulari colorate ad esempio da melanina, di colore bruno-nero, o da altri pigmenti, sia alla liberazione di varie sostanze. Le macchie presentano una grande varietà di colori dal nero al bruno, rosso, giallo e porpora. I coloranti sono caratteristici delle diverse specie inoltre il colore non deriva solo dalla composizione chimica ma anche da: reazioni con il vario tipo di substrato, tracce di ioni metallici, disponibilità di nutrienti, acidità o alcalinità del supporto, presenza di altre specie microbiche e condizioni ambientali. I coloranti che diffondono all'esterno appena sintetizzati, possono essere incolori e assumere in seguito una colorazione (nel momento cioè in cui sono escreti). Le alterazioni cromatiche quindi variano a seconda delle specie, in relazione a fattori che influiscono sul loro sviluppo quali la qualità della carta e l'età dell'infezione nonché la presenza di altre specie biologiche che mascherano i responsabili effettivi del danno.

Uno studio interessante, riguardante in modo specifico le macchie determinate da funghi e batteri e le loro colorazioni su materiali cartacei, è stato curato da Melo *et al.* (2018)[68]. La *review* evidenzia che i metaboliti secondari colorati appartengono alla classe dei composti naturali polichetidi (antrachinoni, naftochinoni, azafiloni, melanine) e alla classe di pigmenti organici di natura lipidica: i carotenoidi. I generi fungini più frequentemente correlati alla colorazione della carta sono *Aspergillus* (29%) e *Penicillium* (13%). Le macchie sono per lo più associate a un colore brunastro (54%) e il secondo colore è associato a macchie nere (23%) legate frquentemente alle melanine. L'autore fa notare che un colore specifico su un documento non può essere associato ad un fungo specifico dato che lo stesso fungo può presentare diversi colori e lo stesso colore può essere causato da funghi diversi.

Altra tipica alterazione dei supporti cartacei e riscontrabile su stampe fotografiche è il *foxing*, fenomeno complesso rappresentato da macchie generalmente di dimensioni limitate (fino a 10 mm ca.), spesso tondeggianti, localizzate o diffuse, superficiali o meno, dai margini netti o irregolari, con nucleo bruno scuro o prive di nucleo, dal colore ruggine, al bruno, al bruno-rossastro o giallastro (figg. 9.21, 9.21a e 9.22). Le macchie sono in grado di mostrare fluorescenza bianca, gialla o bluastra se esposte a luce UV (il nucleo, se presente, non è fluorescente, al contrario di anelli periferici/margini).

I meccanismi di formazione di tale fenomeno sono stati studiati fin dagli anni Trenta, senza giungere però a risultati conclusivi e ancora oggi le molte ricerche svolte[69] non hanno permesso di definirne univocamente la genesi controversa. Il dibattito su tale fenomeno risulta ancora aperto e gli studi più recenti, che si sono avvalsi delle moderne indagini fisiche, chimiche e biologiche, confermano la duplice origine sia chimica, sia dovuta ad esiti di reazioni

biochimiche mediate da agenti microbiologici. Numerosi lavori hanno quindi messo in rilievo cause di natura chimica o biologica o anche coesistenti. Diversi autori hanno associato la presenza del *foxing* ad origine chimica: si potrebbe infatti ricondurre a fenomeni ossidativi a seguito della presenza di metalli pesanti (ferro e rame) durante la fase di manifattura della carta[70]. Altri hanno trovato evidenze di crescita soprattutto fungina.





L'ipotesi di origine biologica è stata sostenuta, tra l'altro, da alcune ricerche [Arai (1987; 2000), Florian (2000), Florian e Manning (2000), Florian (2002)][71] che hanno evidenziato, nei punti corrispondenti alle macchie brune, la presenza di funghi xerofili quali *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Eurotium* spp. e dei prodotti del loro metabolismo (acidi organici, zuccheri e amminoacidi). Arai dai suoi numerosi studi (ha isolato dalle macchie esaminate funghi xerofili obbligati e xerofili facoltativi) ha proposto che la formazione di *foxing* non dipende dalla vitalità degli organismi, ma dai composti che lasciano tra le fibre di cellulosa. Il colore ruggine sembra dovuto alla melanoidina (risultato della reazione di Maillard tra amminoacidi e glucosio derivato dai β-glucani delle pareti fungine) oppure ad una miscela tra strutture fungine e secrezioni extracellulari. L'ipotesi fatta è che il colore delle strutture appartenenti ai funghi possa essere legato alla presenza di una lipoproteina di colore ruggine, solubile in alcali e con fluorescenza gialla ai raggi UV, concordando con le caratteristiche note del *foxing*. Radicali ad alta energia, prodotti dall'ossidazione dei lipidi, sono in grado di alterare la proteina delle strutture e delle secrezioni fungine. Florian conferma la capacità di questi generi di produrre metaboliti di varia natura soprattutto la precipitazione di sali quali malato, succinato derivanti dal metabolismo degli acidi carbossilici. Questi metaboliti sono colorati grazie alla reazione di Maillard.

Figg. 9.21, 9.21a

Stampa all'albumina di fine Ottocento con vistosi danni da *foxing* localizzati soprattutto nella area superiore dell'immagine. Nel particolare allo stereomicroscopio (fig. 9.21a, in basso) sono maggiormente messi in evidenza alcuni *fox-spot*

Successivamente la ricerca[72] si è concentrata sulla condizione della carta interessata misurando la quantità di radicali liberi e diversi gruppi funzionali formati dall'ossidazione o dall'idrolisi acida. Certi punti di *foxing* sono stati



Fig. 9.22

Stampa all'albumina di fine Ottocento, formato carte de visite, con diffusi danni da *foxing*

trovati non associati alle cause presunte, cioè metalli o microrganismi.

Di conseguenza, nuove ipotesi si sono sviluppate sulla formazione di questo danno inclusa l'ossidazione preferenziale della cellulosa o la condensazione dell'umidità legata alla non omogeneità della carta. Zotti *et al.* (2007; 2011)[73] con ricerche approfondite sul *foxing*, utilizzando diverse tecniche diagnostiche, hanno identificato alcuni funghi tra i più comuni: *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium purpurogenum, Aspergillus melleus, Pithomyces chartarum, Aspergillus sclerotiorum* associati a tale manifestazione. Opinione degli autori è che non esistano comunque specie fungine esclusive del *foxing*. In lavori più recenti condotti da Modica *et al.* (2016)[74] il gruppo predominante indicato è stato quello del *Penicillium*.

La recente indagine del 2017[75] basatasi su analisi molecolari, microscopia elettronica a scansione con microanalisi (SEM-EDS) e spettroscopia μ-Raman supportata da analisi di fluorescenza a raggi X (XRF), ha fornito ulteriori informazioni sugli effetti dell'attività microbica in stampe fotografiche alla gelatina per quanto riguarda la formazione del *foxing*. Nelle stampe analizzate sono state trovate comunità microbiche e l'azione dei microrganismi ha portato a: a) formazione di composti misti di fosfato di alluminio-ferro-potassio che potrebbero essere attribuiti all'attività idrolitica dei batteri; b) lisciviazione della barite; c) precipitazione di una miscela di ossidi; d) cambiamento della struttura chimica del solfato di bario che rappresenta lo strato immagine. È stato evidenziato che batteri e funghi interagiscono con le componenti minerali e con i composti organici del supporto fotografico e ciò potrebbe portare a meccanismi di colorazione e deterioramento complessi e molto diversi. I risultati hanno comunque mostrato un diverso attacco da parte di specie fungine e batteriche sviluppatesi in comunità distinte. Inoltre è stata documentata l'interazione tra microrganismi e minerali (bario, solfati, fosfati ecc.) nella aree invecchiate. Funghi e batteri alotolleranti hanno prodotto *spot* localizzati sulla gelatina. La presenza di funghi non vitali rimasti sulle stampe fotografiche rappresenta un motivo di preoccupazione per il contenuto delle sostanze chimiche potenzialmente reattive anche dopo un certo periodo di tempo.

Il danno sulle plastiche da parte dei microrganismi è a carico dei plastificanti aggiunti in fase di manifattura con perdita della loro flessibilità[76] nonché delle varie impurità e degli additivi. È però la gelatina dello strato immagine dei vari materiali indagati a rappresentare per i microrganismi identificati la fonte primaria di nutrimento. Su pellicole cinematografiche e

fotografiche sono state condotte nel primo decennio del Duemila diverse indagini che hanno portato all'identificazione di vari microfunghi con i generi predominanti rappresentati da *Aspergillus* e *Penicillium*: l'attacco era rivolto esclusivamente alla gelatina dell'immagine. Non sono state però approfondite le interazioni tra microrganismi, ambiente e componenti dei materiali.

Abrusci *et al.* (2004; 2005; 2007)[77] in vari studi, alcuni già citati, hanno isolato varie specie batteriche e fungine capaci di degradare la gelatina di pellicole cinematografiche. Bogomolova *et al.* (2007)[78] hanno anche loro confermato la presenza di una serie di funghi e Lourenço e Sampaio (2005)[79], raccogliendo le esperienze di numerosi conservatori di collezioni fotografiche, hanno isolato e identificato i generi *Penicillium* (35%), *Aspergillus* (23%) e *Cladosporium* (12%) da emulsioni alla gelatina di materiali fotografici appartenenti ad alcune collezioni di Lisbona. Su pellicole in triacetato di cellulosa, Vivar *et al.* (2013)[80] hanno indagato con analisi microscopiche la presenza di microrganismi colonizzatori sul *recto* e *verso* di pellicole (con maggiore concentrazione sul lato emulsione) identificando i generi: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Microascus* e *Penicillium*. Bingley e Verran (2013)[81] hanno analizzato la concentrazione di spore di funghi nell'aria e isolato da film cinematografici i generi *Aspergillus* e *Penicillium.*

Nelle figure 9.23–9.23b si possono visualizzare pellicole in nitrato di cellulosa con la presenza di numerose strutture biologiche.

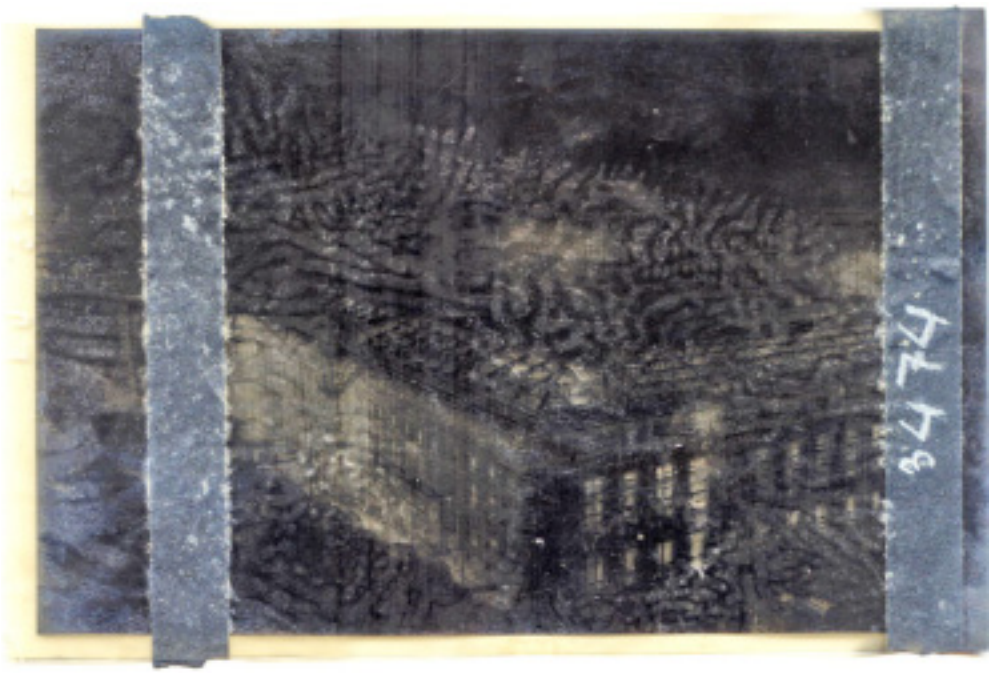


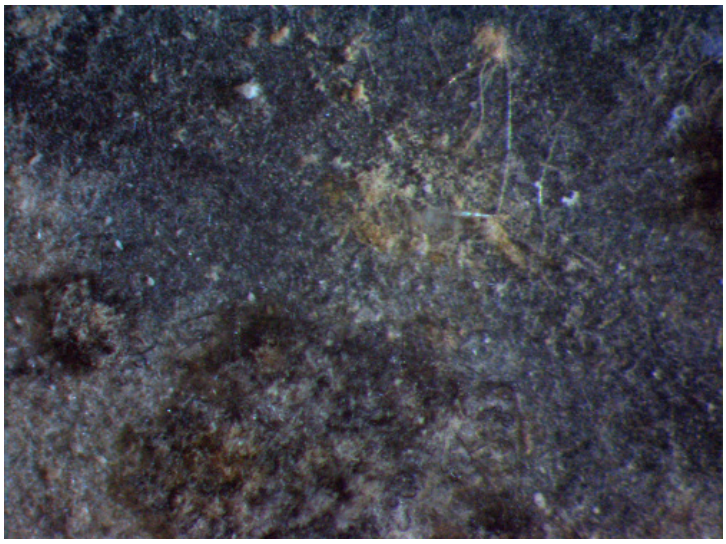
Figg. 9.23, 9.23a, 9.23b

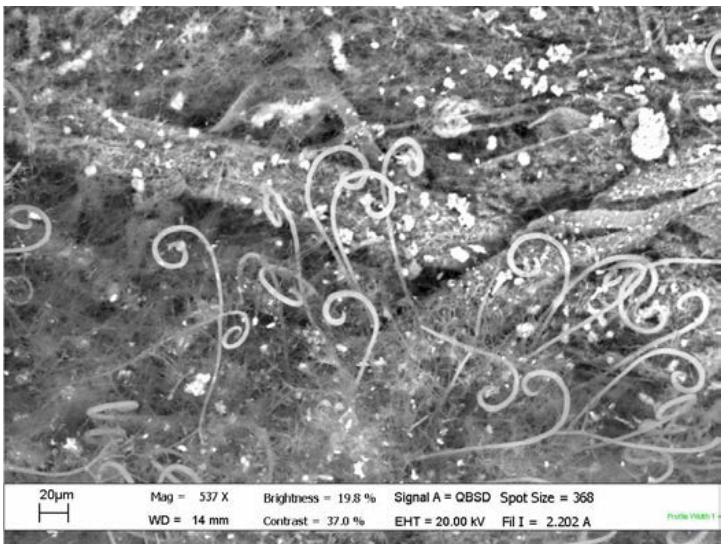
Diapositiva in nitrato di cellulosa, anni Quaranta, con montaggio in cartoncino (fig. 9.23, in alto a sn). Negli ingrandimenti (figg. 9.23a e 9.23b) si possono visualizzare alcune strutture fungine Dalle indagini al SEM si sono ritrovati conidiofori di *Aspergillus* sp. tra le fibre del cartoncino

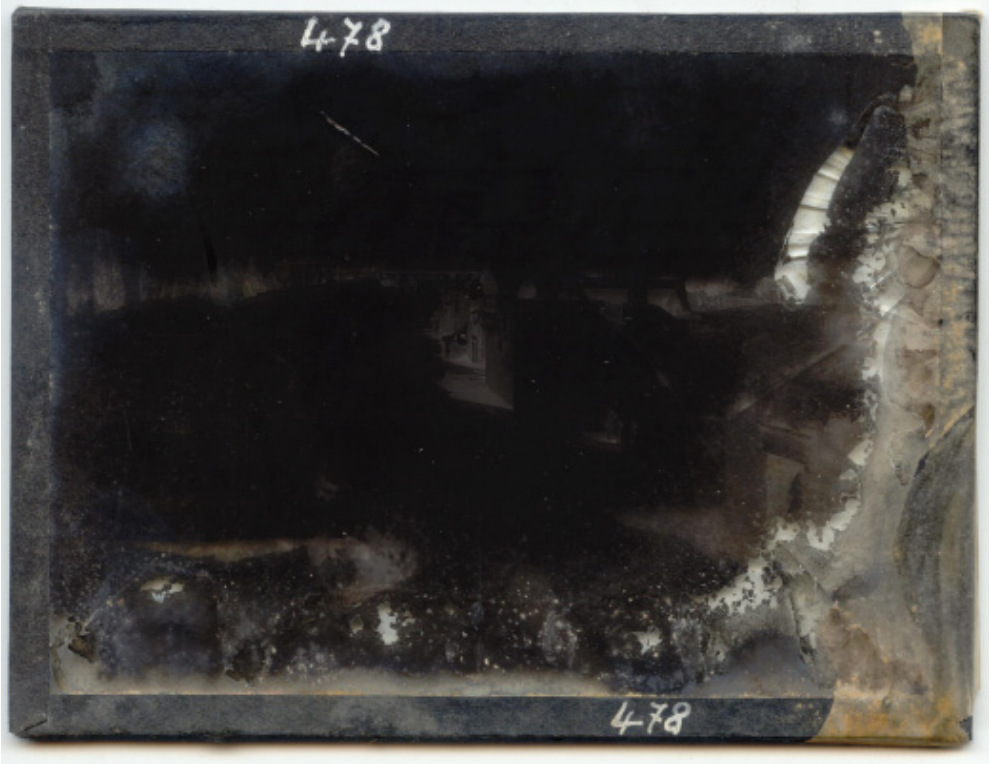
Figg. 9.24, 9.24a, 9.24b

Pellicola in nitrato fine anni Trenta con mascheratura di riquadro (fig. 9.24, a lato). Microfotografia allo stereomicroscopio che evidenzia strutture biologiche (fig. 9.24a, al centro). Immagine VP-SEM che mostra la presenza di probabile *Myxotrichum* sp. (fig. 9.24b, in basso) insieme ai granuli di argento metallico



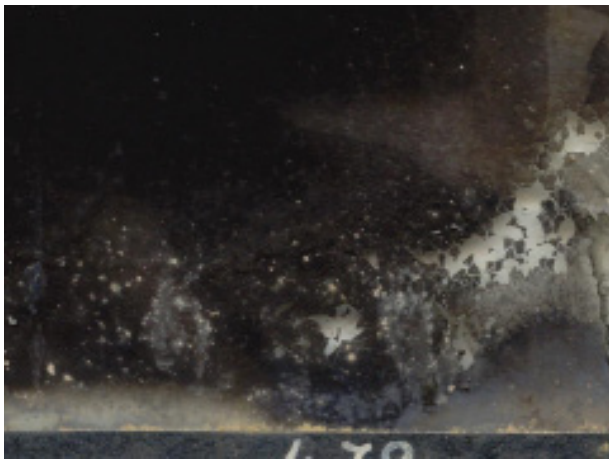


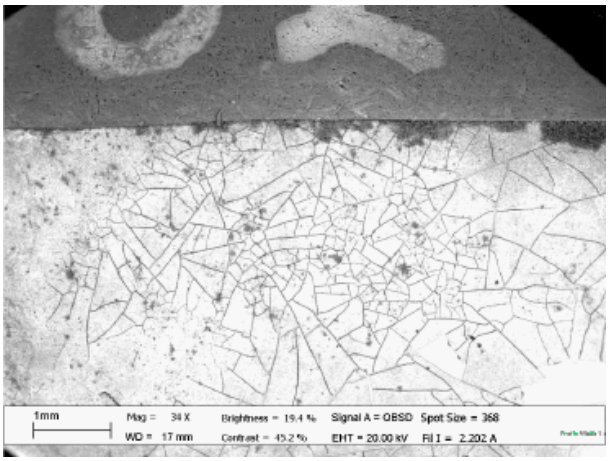


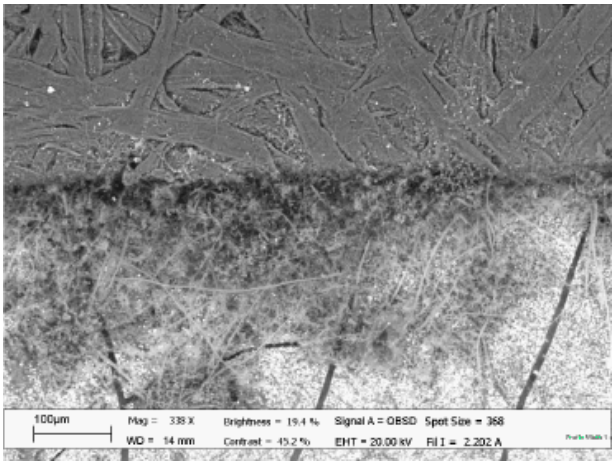


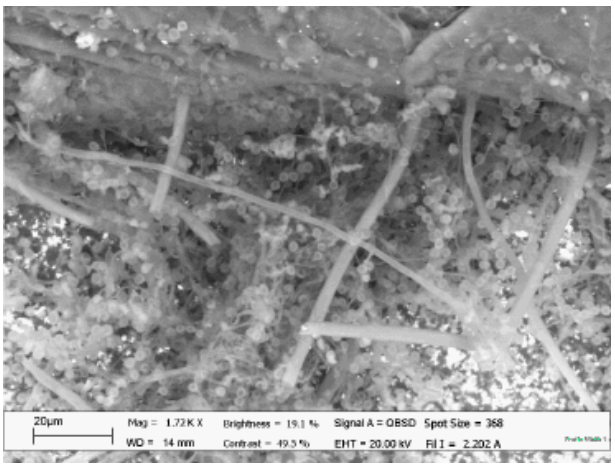
Figg. 9.25, 9.25a, 9.25b, 9.25c, 9.25d

Lastra di vetro, fine anni Trenta, con mascheratura in carta (fig. 9.25, a lato). Nella figura 9.25a (al centro a sn) si evidenziano distacchi dell'emulsione e presenza di strutture biologiche. Immagine VP-SEM con crescite microbiche vicino alla mascheratura e reticolazione della gelatina (fig. 9.25b, al centro a dx). Immagini al SEM di fibre cartacee, micelio e conidiofori di *Aspergillus* sp. (fig. 9.25c e 9.25d in basso).









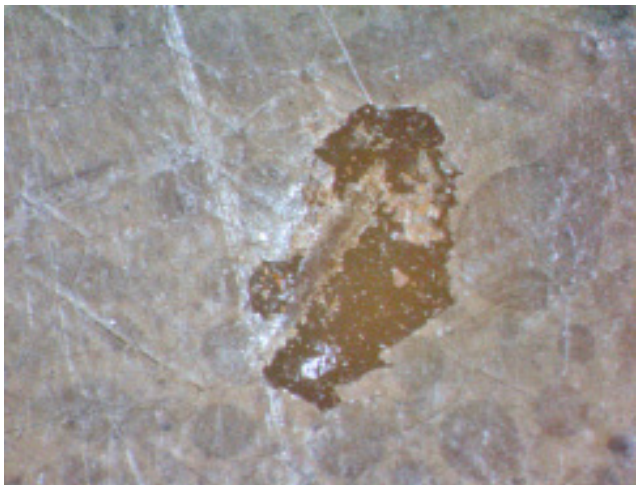
Figg. 9.26, 9.26a

Ferrotipo dei primi Novecento (fig. 9.26). Nell'ingrandimento (fig. 9.26a) si evidenziano distacchi del collodio. Questi danni espongono il ferro a fenomeni di corrosione



Come nel caso delle lastre di vetro mostrate in figura 9.24 e 9.25, la crescita microbica ha inizio dalla maschera di carta per poi estendersi allo strato immagine di gelatina. I danni su questo negativo sono di natura meccanica e dovuti all'azione dell'acqua con cui il materiale è entrato in contatto, nonché ai residui della carta tipo *pergamin* dell'involucro di conservazione, più che all'azione stessa dei microrganismi ritrovati.

La carta *pergamin*, nota anche come *glassine* o *papier cristal*, è una carta traslucida (ottenuta per pressatura – supercalandratura o per trattamento impregnante con oli, cere, resine ecc.) impiegata in passato per conservare diverse tipologie di fotografie; presenta generalmente un impasto fibroso di scarsa qualità costituito in prevalenza da pasta meccanica di legno (vedi Capitolo 11). Queste caratteristiche hanno determinato diversi problemi conservativi ai vari materiali, come si è potuto constatare in numerosi sopralluoghi effettuati nelle varie realtà archivistiche e librarie del nostro paese.



Certamente i supporti inorganici (quali metalli e vetro) sono più resistenti al deterioramento di natura microbica (rispetto a carta e plastica) che si può verificare solo in condizioni di elevata umidità per un tempo protratto. È noto che microrganismi come funghi e batteri producono acidi organici con possibilità di determinare micropori (*pits*), erosioni superficiali, macchie scure, microfratturazioni ed opacizzazioni a causa dei prodotti del loro metabolismo nonché utilizzo e mobilizzazione del silicio.

I fenomeni di attacco microbico sul vetro sono secondari ad eventuali manifestazioni di corrosione dovuti ad inquinanti atmosferici. La corrosione risulta il processo più importante di degradazione per determinati metalli come ad esempio il ferro. Il danno di natura microbica è principalmente imputabile a solfobatteri e ferrobatteri, ma sempre in ambiente molto umido o acquoso. Si tratta di un fenomeno elettrochimico. Tale manifestazione si

verifica comunque quando la vernice protettiva della lamina di ferro, che costituisce il supporto dei ferrotipi, subisce graffi, distacchi o fessurazioni in seguito ad azione meccanica come si è verificato nell'immagine mostrata nelle figure 9.26 e 9.26a. Il contatto dell'ossigeno atmosferico e dell'umidità con il metallo ne favoriscono quindi la corrosione per azione ossidativa (con formazione di ruggine, strato superficiale incoerente rappresentato in prevalenza da un insieme di ossidi e idrossidi).

Il rame, utilizzato per la produzione dei dagherrotipi, ricoperto da una lamina argentata può essere esposto ad ossidazioni soprattutto quando tale ricopertura viene danneggiata. Alcune forme di corrosione sulla superficie possono derivare anche dal trasferimento dei prodotti di corrosione del vetro del montaggio. In taluni dagherrotipi si sviluppano rigonfiamenti simili a vesciche, *blister-like*, di colore verde[82] e *pits* nello strato argentato derivanti dalla corrosione del rame. Anche in questo caso l'attacco microbico al supporto metallico si può verificare soltanto in condizioni di elevata umidità e non è facilmente distinguibile da quello di natura esclusivamente elettrochimica. La natura del metallo, la presenza di possibili fessurazioni e di sostanze estranee sulla superficie, in generale possono influenzare l'entità del danno.

Note alle immagini

Figg. 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.8, 9.10 e 9.14 riprese fotografiche eseguite al microscopio ottico dagli Autori (archivio Autori).

Fig. 9.7, 9.24b, 9.25c e 9.25d immagini al SEM (LEO 1450 VP) eseguite da Daniela Ferro.

Fig. 9.9 elaborazione grafica di Roberto Bianchi, modificato da: P. Mandrioli, G. Pasquariello, A. Roccardi, *Il monitoraggio aerobiologico*, in *La biologia Vegetale per i Beni culturali*, vol I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 298–302.

Figg. 9.11, 9.12 e 9.13 riprese fotografiche eseguite da Pierluigi Manzone. Utilizzo di microscopio ottico Leitz Dialux 20 munito di fotocamera Leica (24x36). Gli strati sottili ricavati con microtomo a slitta Leica si aggirano tra 8 e 15 µm di spessore. Per la preparazione degli strati sottili vedi: D. Matè, P. Manzone, *Sezioni stratigrafiche di alcune carte fotografiche monocromatiche*, in *AFT Rivista dell'Archivio Fotografico Toscano*, XXV, 50, 2009, pp. 3–9.

Figg. 9.15, 9.15a, 9.15b, 9.16, 9.16a, 9,17, 9.20, 9.20a, 9.21, 9.21a, 9.22, 9.23, 9.24, 9.25, 9.25a e 9.26 riprese fotografiche eseguite da Roberto Bianchi.

Figg. 9.16b, 9.16c, 9.17a, 9.18, 9.19, 9.20b, 9.23a, 9.23b e 9.24a riprese fotografiche eseguite allo stereomicroscopio da Donatella Matè.

Fig. 9.26a ripresa fotografica eseguita allo stereomicroscopio da Vittorio Bianchi Matè.

I materiali fotografici relativi alle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] H.J. Hueck, *The biodeterioration of materials, an appraisal*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 48, 2001, pp. 5–11.

[2] D. Allsopp, K. Seal, C. Gaylarde, *Introduction to Biodeterioratio*n, 2nd ed., Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2004.

[3] O. Baldassarre, *Dell'architettura di* M. Vitruvio Pollione *Libri Diece, Restituiti nell'Italiana Lingua da Baldassarre Orsini*, Tomo II, Perugia, Dai Torchi di Carlo Baduel, 1802.

[4] J. Needham, *Science and civilisation in China*, vol. 5, Cambridge, Cambridge University Press, 1985.

[5] P. Sée (Docteur en Médecine Docteur ès Sciences), *Les Maladies du Papier Piqué. Les Champignons*

Chromogènes qui les Provoquent. Modes de Preservation (VIe), Paris, O. Doin et fils éditeurs, 1919.

[6] C.V. Houlbert, *Les Insects Ennemis des Livres. Leurs Moeurs. Moyens de les Detruire*, Paris, Picard e Fils, 1903.

[7] G. Saccà, *Contributo alla conoscenza dei coleotteri della fauna carticola.* in *Bollettino del R. Istituto di Patologia del Libr*o, v. 2, 1, 1940, pp. 7–12; G. Saccà, *Secondo contributo alla conoscenza della fauna carticola. Osservazioni sulla biologia dello Scleroderma domesticum Kieff: Hymenopt., Bethilidae*, in *Bollettino del R. Istituto di Patologia del Libro*, v. 2. 1940, 4, pp. 157–166; L. Illuminati, *Introduzione allo studio della fauna carticola. Alcune notizie sistematiche e biologiche di entomologia generale*, in *Bollettino del R. Istituto di Patologia del Libro*, v. 4, 2, 1942-XX, pp. 25–33; L. Illuminati, *Metodo di determinazione degli insetti carticoli dalle erosioni prodotte carticola*, in *Bollettino del R. Istituto di Patologia del Libro*, v. 4, 4, 1942-XX, pp. 77–78.

[8] P. Sée 1919, *op. cit.*

[9] A. Gallo, *Patologia e Terapia del Libro*, Roma, Editrice Raggio, 1951.

[10] O. Verona, *Sopra le cause microbiche di danneggiamento dei libri*, in *Accademie e Biblioteche*, Anno XI, 3-4, 1937, pp. 247–250; G. Bonaventura, A. Camposano, *Secondo contributo alla conoscenza della microflora carticola*, in *Bollettino dell'Istituto di Patologia del Libro*, V, Fasc IV, 1946, pp. 97–105; G. Goidanich, G. Borzini, A. Mezzetti, *Ricerche sulle Alterazioni e sulla Conservazione della Pasta di Legno Destinata alla Fabbricazione della Carta*, Ente Naz. Per la Cellulosa e per la carta, Roma, Ed. culturali e di propaganda, 1938.

[11] C. Sibilia, *Le malattie crittogamiche dei libri*, in *Accademie e Biblioteche*, 9, 3–4, 1935, pp. 274–280.

[12] A. Gallo, *Il R. Istituto di Patologia del Libro in Roma*, seconda edizione, Quaderni italiani. Serie VIII, Accademie, biblioteche, archivi e istituti di alta cultura, Roma, I.R.C.E., 1942.

[13] L. Orabona, *Alfonso Gallo. Paleografo e patologo del Libro, Storico della Protocontea Normanna di Aversa*, Napoli, Alfredo Guida Editore, 2004.

[14] ICCROM, *Nota sulla ricerca e i ricercatori*, in *Il biodeterioramento dei Beni Culturali: Libri, Documenti, Opere grafiche, Scripta volant*, IBC–Istituto Per Beni Culturali Della Regione Emilia-Romagna, Bologna, Edizioni Analisi, 1987.

[15] H.J. Hueck 2001, *op.cit.*

[16] *Ibid.*

[17] I. Stephan, P.D. Askew, A.A. Gorbushina, M. Grinda, H. Hertel, W.E. Krumbein, R.J. Muller, M. Pantke, R. Plarre, G. Schmitt, K. Schwibbert, *Biogenic impact on materials*, in *Springer Handbook of Metrology and Testing*, H. Czichos, T. Saito, L. Smith (eds.), Part D, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2011, pp. 769–844.

[18] H.O.W. Eggins, T.A. Oxley, *Biodeterioration and biodegradation*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 48, 2001, pp. 12–15.

[19] H.J. Hueck, *The biodeterioration of materials as a part of Hilobiology*, in *Materials und Organismen*, 1, 1965, pp. 5–34.

[20] M-L.E Florian, *Conidial fungi (mould) activity on artifact materials. A new look at prevention, control and eradication*, in *ICOM Committee for Conservation, Proceeding of the 10th triennal meeting, Washington DC, 22-27 August 1993,* Paris, International Council of Museums Committee for Conservation, vol. 2, 1993, pp. 868–874.

[21] C. Woese, *Bacterial evolution*, in *Microbiological Reviews*, 51, 2, 1987, pp. 221–271, DOI:10.1016/s0140-6736(01)20693-x; C. Woese, O. Kandler, M. Wheelis, T*owards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya*, in *Proceedings of the National Academy Sciences*, USA, 87, 12, 1990, pp. 4576–4579, DOI: 10.1073/pnas.87.12.4576; T. Cavalier-Smith, *Only six kingdoms of life*, in *Proceeding of The Royal Society B: Biological Sciences*, 271, 1545, 2004, pp. 1251–1262; DOI: 10.1098/rspb.2004.2705.

[22] J.W. Deacon, *Micologia Moderna*, Bologna, Calderini Edagricole, 2000.

[23] T.Y. James, F. Kauff, C.L. Schoch, P.B. Matheny, V. Hofstetter, C.J. Cox, *Reconstructing the early evolution of Fungi using a six gene-phylogeny*, in *Nature*,

443, 7113, 2006, pp. 818–822, DOI: 10.1038/nature05110.

[24] P.M. Kirk, P.F. Cannon, J.C. David, J.A. Stalpers, *Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi*, ed. 9, Wallingford, CABI publishing, 2001; O. Maggi, A.M. Persiani, F. Leo, C. De Urzì, *Funghi*, in *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 65–70.

[25] J.W. Deacon 2000, *op. cit.*

[26] *Ibid.*

[27] M.J. Carlile, S.C. Watkinson, W. Gooday, *The Fungi*, London, Academic Press, 2001.

[28] J.W. Deacon, *Modern Mycology*, 3rd edn, Cambridge, MA, USA, Blackwell Science, 1997; J.W. Deacon, *Fungal Biology*, Cambridge, MA, USA, Blackwell Publishers, 2005; J. Trovão, N. Mesquita, D.S. Paiva, H.P. de Carvalho, L. Avelar, A. Portugal, *Can arthropods act as vectors of fungal dispersion in heritage collections? A case study on the archive of the University of Coimbra, Portugal*, in *International Biodeterioration & Biodegradation,* 79, 2013, pp. 49–55, DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.10.015.

[29] A. Rambelli, *Fondamenti di Micologia*, Bologna, Zanichelli, 1981; T. Reponen, *Aerodynamic diameters and respiratory deposition estimates of viable fungal particles in mold problem dwellings*, in *Aerosol SciTech*, 22, 1995, pp. 11–23, DOI: 10.1080/02786829408959724; P. Mandrioli, G. Pasquariello, A. Roccardi, *Il monitoraggio aerobiologico*, in *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 298–302.

[30] J.W. Deacon 2005, *op. cit.*; M.-L.E. Florian, *Conidial Fungi (Mould) Activity on Artifact Materials – a New Look at Prevention, Control and Eradication*, International Council of Museums Committee for Conservation, vol. II, 1993, pp. 868-874.

[31] J.W. Deacon 2000, *op. cit.*

[32] N.J. Dix, J. Webster, *Fungal Ecology*, London, Chapman and Halè, 1995.

[33] R. Hall, *Physiology of conidial fungi*, in *Biology of Conidial Fungi*, G.T. Cole, B. Kendrick (eds.), 2, New York, Academic Press, pp. 417–457, 1981; J.I. Pitt, A.D. Hocking, *Fungi and Food Spoilage*, Sydney, Academic Press, 1985; J.I. Pitt, A.D. Hocking, *Fungi and Food Spoilage*, Inc. Gaithersburg, Maryland, Aspen Publisher, 1999.

[34] J.W. Deacon 2000, *op. cit.*

[35] R. Hall 1981, *op. cit*; J.I. Pitt, A.D. Hocking 1985, *op. cit.*; J.I. Pitt, A.D. Hocking 1999, *op. cit.*

[36] L.M. Prescott, *Microbiologia Generale*, J.M. Willey, L.M. Sherwood, C.J. Woolverton (eds.), vol. 1, Milano, McGraw-Hill, 2009.

[37] J.W. Deacon 2000, *op. cit.*; L.M. Prescott 2009, *op. cit.*

[38] J.W. Deacon 2000, *op. cit.*

[39] O. Maggi et al. 2005, *op. cit.*

[40] J.W. Deacon 2000, *op. cit.*

[41] L.A. Amaral Zettler, F. Gómez, E. Zettler, B.G. Keenan, R. Amils, M.L. Sogin, *Microbiology: eukaryotic diversity in Spain's River of Fire*, in *Nature*, 9, 417, 6885, 2002, p. 137, DOI: 10.1038/417137a, PMID: 12000949.

[42] W.J. Scott, *Water relations of food spoilage microorganisms*, in *Advances in Food Research*, 7, 1957, pp. 83–127, DOI: 10.1016/S0065-2628(08)60247-5.

[43] A.H.S. Onions, D. Allsopp, H.O.W. Eggins, *Smith's Introduction to Industrial Mycology,* London, Edward Arnold, 1981.

[44] M.-L.E. Florian 1993, *op. cit.*

[45] N.J. Dix, J. Webster 1995, *op. cit.*

[46] M.-L.E. Florian 1993, *op. cit.*

[47] A.H.S. Onions *et al.* 1981, *op. cit.*

[48] O. Maggi *et al.* 2005, *op. cit.*; J.I. Pitt, A.D. Hocking 1985, *op. cit.*

[49] M. Imai, *On a tonophilic fungus isolated from an*

old agar slant, in *Botanical Magazine. Tokyo*, 77, 1964, pp. 43–48; A. Micheluz, S. Manente, V. Tigini, V. Prigione, F. Pinzari, G. Ravagnan, G.C. Varese, *The extreme environment of a library: Xerophilic fungi inhabiting indoor niches*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 99, 2015, pp. 1-7; F. Pinzari, A. Micheluz, M. Montanari, M. Fomina, M. C. Sclocchi, P. Colaizzi, G.C. Varese, *An Extremophilic Fungus with Anthropogenic Distribution and Ecological Niche Affecting Libraries, Archives and other Objects of Cultural and Historical Heritage*, Poster in *Online conference, International Biodeterioration & Biodegradation Symposium Microbes, Man and the Environment: Societal Challenges and the Role of Microorganisms in the Anthropocene*, 6–9 September 2021.

[50] A. Oren, *Diversity of halophilic microorganisms. Environments, phylogeny, physiology, and applications*, in *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 28, 1, 2002, pp. 56–63, DOI: 10.1038/sj/jim/7000176.

[51] L.M. Prescott 2009, *op. cit.*

[52] C. Urzì, M. Realini, *Colours changes of Noto's calcareous sandstone as related to its colonization by microorganisms*, in *International Biodeterioration and Biodegradation*, 42, 1998, pp. 45–54; L. Selbmann, G.S. De Hoog, A. Mazzaglia, E.I. Friedmann, S. Onofri, *Fungi at the edge of life: cryptoendolithic black fungi from Antarctic desert*, in *Studies in Mycology*, 51, 2005, pp. 1–32.

[53] S. Onofri, *Limiti della Vita in Condizioni Estreme*, Treccani.it, 2010, da: http://www.treccani.it/enciclopedia/limiti-della-vita-in-condizioni-estreme_%28XXI-Secolo%29/ (consultato il 22/06/2022).

[54] N.J. Dix, J. Webster 1995, *op. cit.*

[55] O. Maggi *et al.* 2005, *op. cit.*

[56] A. Puškárová, M. Bučková, B. Habalová, L. Kraková, A. Maková, D. Pangallo, *Microbial communities affecting albumen photography heritage: a methodological survey*, in *Scientific Reports*, 6, 20810, 2016, DOI: 10.1038/srep20810.

[57] C. Abrusci, N.S. Allen, A. Del Amo, M. Edge, A. Martın-Gonzalez, *Biodegradation of motion picture film stocks*, in *Journal of Film Preservation*, 67, 2004, pp. 37–54.

[58] D. Vellati, M. Adamo, D. Matè, F. Pinzari, D. Ruggiero, L. Botti, L. Residori, M.C. Sclocchi, A*ssays on the resistance of photographic paper treated with gamma rays to fungal biodeterioration*, in *15th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium, Vienna, 19th–24th September 2011, University of Natural Resources and Applied Life Sciences Department of Biotechnology*, Abstracts Book, p. 136, 2011, DOI: 10.13140/2.1.4248.1927.

[59] C. Basilone, M.C. Sclocchi, D. Matè, *Effetti dell'azoto atmosferico nella disinfezione di stampe fotografiche*, in *Biologi Italiani, Organo Ufficiale dell'Ordine Nazionale dei Biologi*, XXXV, 5, 2005, pp. 20–26.

[60] C. Abrusci, D. Marquina, A. Santos, A. Del Amo, F. Catalina, *Bacteria present in cinematographic films stored in Spanish archives. Biodegradation of photographic gelatine*, in *Recent Research Development Series Microbiology*, 10, 2006, pp. 75–95.

[61] C. Abrusci, D. Marquina, A. Del Amo, F. Catalina, *Biodegradation of cinematographic gelatin emulsion by bacteria and filamentous fungi using indirect impedance technique*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 60, 3, 2007, pp. 137–143, DOI: 10.1016/j.ibiod.2007.01.005.

[62] J.W. Deacon, *Introduction to Modern Mycology*, Oxford, Blackwell scientific publications Ltd, 1984; D. Allsopp, K.J. Seal, C.C. Gaylarde, *Introduction to Biodeterioration*, Cambridge, Cambridge University press, 2004.

[63] T.C. Wood, S.I. McCrae, *Synergism between enzymes involved in the solubilization of native cellulose*, in *Advances in Chemistry Series*, 1, 1979, pp. 181–209; D.H. Griffin, *Fungal Physiology*, New York, Wiley Europe Publisher, 1996.

[64] N. Valentin, *Microbial Contamination in Archives and Museums: Health Hazards and Preventive Strategies Using air Ventilation Systems*, Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, held in April 2007, in Tenerife, Spain, The Getty Conservation Institute, 2007, pp. 1–26, da: http://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/climate/paper_valentin.pdf (consultato il 18/06/2022); O. Abdel-Kareem, *Fungal Deterioration of Historical Textiles and Approaches for their Control in Egypt*,

in *E-Preservation Science*, 7, 2010, pp. 40–47.

[65] B. Zyska, *Fungi isolated from library materials: a review of the literature,* in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40, 1, 1997, pp. 43–51, DOI: 10.1016/S0964-8305(97)00061-9.

[66] E.V. Bogomolova, A.M. Ivanova, I.Y Kirtsideli, V.A. Mel'nik, D.V. Sokolenko, *Micromycetes complexes on photographs from old collections (1839–1912)*, in *Topics in Photographic Preservation*, 12, 2007, pp. 55–63.

[67] F. Gallo, *Gli agenti biologici che danneggiano il materiale cartaceo degli archivi e delle biblioteche*, in *Bollettino dell'Istituto di Patologia del Libro Alfonso Gallo*, 20, 1960, pp. 36–60; F. Gallo, *Ricerche sperimentali sulla resistenza agli agenti biologici dei materiali impiegati nel restauro di libri. III. Saggi su alcuni collanti organici e sintetici*, in *Bollettino dell'Istituto di Patologia del Libro Alfonso Gallo*, 20, 1961, pp. 191–213; F. Gallo, A.B. Strzelczyk, *Indagine preliminare sulle alterazioni microbiche della pergamena*, in *Bollettino dell'Istituto di Patologia del Libro Alfonso Gallo*, 30, I-II, 1971, pp. 71–87; E. Czerwinska, R. Kowalik, *Microbiodeterioration audiovisual collections. Part. 1. Protection of audiovisual records againsts destructive microflora*, in *Restaurator*, 3, 1979, pp. 63–80.

[68] D. Melo, S.O. Sequeira, J.A. Lopes, M.F. Macedo, *Stains versus colourants produced by fungi colonising paper cultural heritage: A review*, in *Journal of Cultural Heritage*, 35, 2019, pp.161–182, DOI: 10.1016/j.culher.2018.05.013.

[69] H. Arai, *Microbiological studies on the conservation of paper and related cultural properties: Part 1. Isolation of fungi from the foxing on paper*, in *Science Conservation*, 23, 1984, pp. 33–39; H. Arai, *Microbiological studies on the conservation of paper and related cultural properties: Part 5. Physiological and morphological, characteristics of fungi isolated from foxing, formation mechanisms and countermeasures*, in *Science Conservation*, 26, 1987, pp. 43–52; H. Arai, N. Matsumura, N. Matsui, H. Murakita, *Biochemical investigations on the formation of foxing*, in *Studies in Conservation*, vol 33, Issue supplement-1, 1988, pp. 11–12, DOI: 10.1179/SIC.1988.33.S1.003; H. Arai, N. Matsumura, H. Murakita, *Microbiological studies on the conservation of paper and related cultural properties: Part 9. Induction of artificial foxing*, in *Science Conservation*, 29, 2, 1990, pp. 25–34; M.-L.E Florian, *The role of the conidia in fox spots*, in *Studies in Conservation*, 41, 1996, pp. 65–75, DOI: 10.1179/sic.1996.41.2.65; M.-L.E. Florian, *Fungal fox spots and others*, in *On Microbes and Art. The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*, Proceedings of an International Conference on Microbiology and Conservation (ICMC), June 17–19, Florence, Italy, O. Ciferri, P. Tiano, G. Mastromei (eds.), Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2000, pp. 135–151; N.L. Rebrikova, N.V. Manturovskaya, *Foxing – a new approach to an problem*, in *Restaurator*, 21, 2000, pp. 85–100, DOI: 10.1515/REST.2000.85; H. Arai, *Foxing caused by fungi: twenty-five years of study*, in *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46, 3, 2000, pp. 181–188, DOI: 10.1016/S0964-8305(00)00063-9; M. Bicchieri, G. Pappalardo, F.P. Romano, F.M. Sementilli, R. De Acutis, *Characterization of Foxing Stains by Chemical and Spectrometric Methods*, in *Restaurator*, 22, 1, 2001, pp. 1–19, DOI:10.1515/REST.2001.1; A. Montemartini Corte, A. Ferroni, V.S. Salvo, *Isolation of fungal species from test samples and maps damaged by foxing, and correlation between these species and the environment*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51, 2003, pp. 167–173, DOI: 10.1016/S0964-8305(02)00137-3; G. Pasquariello, M. Missori, F. Pinzari, G. Caruso, A. De Mico, *Foxing di origine biologica: riproduzione in vitro, analisi SEM-EDS e spettroscopia*, in *Biologia e Archeobiologia nei Beni Culturali. Conoscenze Problematiche e Casi di Studio*, C. Sabbioni, F. Persia, L. Castelletti (eds.), A.i.A.r. e Musei Civici – Comune di Como, 2006, pp. 210–220; C. Soyeon, *Foxing on paper: a literature review*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 46, 2, 2007, pp. 137–152; M.S. Rakotonirainy, E. Heude, B. Lavédrine, *Isolation and attempts of biomolecular characterization of fungal strains associated to foxing on a 19th century book*, in *Journal Cultural Heritage*, 8, 2, 2007, pp. 126–133, DOI: 10.1016/j.culher.2007.01.003; S. Choy, *Foxing on paper: a literature review*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 46, 2, 2007, pp. 137–152, DOI: 10.1179/019713607806112378; M. Zotti, A. Ferroni, P. Calvini, *Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65, 4, 2011, pp. 569–578, DOI: 10.1016/j.ibiod.2010.01.011; M.S. Rakotonirainy, P. Dubar, *Application of*

bioluminescence ATP measurement for evaluation of fungal viability of foxing spots on old documents, in *Luminescence*, 28, 3, 2013, pp. 308–312, DOI: 10.1002/bio.2382; L. Wyczólkowski, J. Karbowska-Berent, J. Jarmilko, J. Czuczko, *Fungi in fox spots of a drawing* in *Restaurator*, 2, 35, 2014, pp. 159–179, DOI: 10.1515/res-2014-1000; M. Bicchieri, *Analisi spettroscopiche e topografiche sull'Autoritratto di Leonardo*, in *I Disegni di Leonardo: Diagnostica, Conservazione*, *Tutela*, M.C. Misiti (ed.), Città di Castello, Sillabe, 2014, pp. 73–78; G. Piñar, H. Tafer, K. Sterflinger, F. Pinzari, *Amid the possible causes of a very famous foxing: molecular and microscopic insight into Leonardo da Vinci's self-portrait*, in *Environmental Microbiology Reports*, 2015, 7, 6, pp. 849–859, DOI:10.1111/1758-2229.12313.

[70] M. Bicchieri *et al.* 2001, *op. cit.*; R. Buzio, P. Calvini, A. Ferroni, U. Valbusa, *Surface analysis of paper documents damaged by foxing*, in *Applied Physics A Materials Science & Processing*, 79, 2, 2004, pp. 383–387, DOI:10.1007/s00339-004-2540-2.

[71] H. Arai 1987, *op. cit.*; H. Arai 2000, *op. cit.*; M.-L.E. Florian 2000, *op. cit.*; M.-L.E. Florian, L. Manning, *SEM analysis of irregular fungal fox spots in a 1854 book: population dynamics and species identification*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46, 2000, pp. 205–220; M.-L.E. Florian, *Fungal Facts. Solving fungal problems on heritage collection*, London, Archetype Publications, 2002.

[72] S. Choy 2007, *op. cit.*

[73] M. Zotti, A. Ferroni, P. Calvini, *Foxing biologico: diagnostica multidisciplinare*, in *Lo Stato dell'Arte 5, Congresso nazionale IGIIC, 11–13 ottobre 2007 Cremona*, Firenze, Nardini Editore, pp. 267–272; M. Zotti *et al.* 2011, *op. cit.*

[74] A. Modica, M. Bruno, M. Di Bella, M.F. Alberghina, M. Brai, D. Fontana, L. Tranchina, *Characterization of foxing stains in early twentieth century photographic and paper materials*, in *Natural Product Research*, 2016, pp. 1–10, DOI: 10.1080/14786419.2016.1180600.

[75] M.C. Sclocchi, L. Kraková, F. Pinzari, P. Colaizzi, M. Bicchieri, N. Šaková, D. Pangallo, *Microbial life and death in a foxing stain: a suggested mechanism of photographic prints defacemen*, in *Microbial Ecology*, 73, 4, 2017, pp. 815–826, DOI: 10.1007/s00248-016-0913-7.

[76] J.W. Deacon 2000, *op. cit.*

[77] C. Abrusci, N.S. Allen, A. Del Amo, M. Edge, A. Martin-Gonzalez, *Biodegradation of motion picture film stocks*, in *Journal of Film Preservation*, 67, 2004, pp. 37–54; C. Abrusci, A. Martin-Gonzalez. A. Del Amo, F. Catalina, J. Collado, G. Platas, *Isolation and identification of bacteria and fungi from cinematographic films*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 56, 2005, pp. 58–68; C. Abrusci *et al.* 2006, *op. cit.*; C. Abrusci *et al.* 2007, *op. cit.*

[78] E.V. Bogomolova *et al.* 2007, *op. cit.*

[79] M.J.L. Lourenço, M.J. Sampaio, J. Paulo, *Microbial deterioration of gelatine emulsion photographs: isolation of contaminant microorganisms from three collections*, in *Conservar património*, 2, 2005, pp. 13–19, DOI: 10.14568/cp2_2 ; M.J.L Lourenço, J.P. Sampaio, *Microbial deterioration of gelatin emulsion photographs: differences of susceptibility between black and white and colour materials*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63, 4, 2009, pp. 496–502, DOI: 10.1016/j.ibiod.2008.10.011.

[80] I. Vivar, S. Borrego, G. Ellis, D.A. Moreno, A.M. García, *Fungal biodeterioration of color cinematographic films of the cultural heritage of Cuba*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 84, 2013, pp. 372–380, DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.05.021.

[81] G. Bingley, J. Verran, *Counts of fungal spores released during inspection of mouldy cinematographic film and determination of the gelatinolytic activity of predominant isolates*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 84, 2013, pp. 381–387, DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.04.006.

[82] AIC Wiki, *PMG Cased Photographs, Cased photographs: Including Katarzyna Dybka-Stępień Katarzyna Dybka-Stępień Daguerreotypes, Ambrotypes (Collodion Positives), and Tintypes*, 1998 (rivisto 2014), da: http://www.conservation-wiki.com/wiki/PMG_Cased_Photographs#2.3_Daguerreotype_Plates (consultato il 18/06/2022).

10 Strategie di controllo dei biodeteriogeni

Marianna Adamo, Pasquale Trematerra, Donatella Matè

Il controllo delle condizioni ambientali costituisce la base di un corretto programma di contenimento dei processi di biodeterioramento, mentre per i microrganismi si rivela però fondamentale, non può essere considerato tale per artropodi e organismi superiori i quali manifestano una grande adattabilità. Per questi ultimi una gestione integrata (vedi Capitolo 8) si rivela fondamentale ai fini della corretta impostazione di un piano di conservazione preventiva.

Nel caso in cui tutti gli accorgimenti preventivati non siano stati sufficienti ad evitare un'aggressione biologica o ci si trovi a dover fronteggiare situazioni di emergenza, si deve ricorrere ad un trattamento mirato di disinfezione/disinfestazione scelto anche in funzione dell'entità dell'attacco e della specie dannosa.

10.1 Considerazioni sul contenimento del biodeterioramento

La conoscenza della biodiversità dei *pests* presenti sui materiali è importante per sviluppare le opportune strategie di controllo, di conservazione e non ultimo di restauro. Per tale motivo prima di intraprendere qualsiasi intervento mirato alla lotta dei biodeteriogeni, è consigliabile svolgere indagini diagnostiche ai fini di una corretta caratterizzazione sia del danno sia dell'agente nocivo.

Per quanto riguarda i microrganismi, oltre alle "metodiche classiche" di isolamento e di coltura che consentono, selezionando terreni agarizzati, di ottenere lo sviluppo di eventuali microfunghi o batteri vitali (si possono isolare organismi casualmente presenti sul bene e non responsabili dell'alterazione anche perché non coltivabili in vitro oppure non più vitali), si ricorre alle non nuove tecniche di microscopia che, attraverso l'osservazione diretta del substrato, permettono contestualmente di valutare la possibile correlazione esistente con l'ospite indesiderato. Inoltre se vengono abbinate all'uso delle tecniche di amplificazione molecolare (PCR, RFLP, sequenziamento delle basi del DNA), che hanno assunto negli ultimi anni un ruolo determinante nella diagnostica, è possibile un'identificazione e una caratterizzazione genetica rapida e specifica dell'agente dannoso (vedi Capitolo 6). Infatti mentre per artropodi e roditori l'associazione danno-biodeteriogeno è relativamente intuibile, per quanto riguarda i microrganismi il riscontro è più difficile. Il problema principale resta sempre quello di comprendere se essi rappresentano i reali deteriogeni o se fanno parte degli inquinanti aerodispersi casualmente depositatisi sui materiali indagati.

Considerando che il ciclo di vita dei microrganismi/macrorganismi è influenzato dalla disponibilità delle risorse nutritive e da fattori ambientali fisici e chimici, in diversa misura rapportati alle esigenze delle singole specie, per ridurre la possibilità di alterazione o degradazione si devono tenere in considerazione[1]:

- aria, origine di particelle biologiche aerodisperse (vedi Capitolo 6);
- proprietà chimico-fisiche dei manufatti (le quali costituiscono una fonte nutrizionale metabolizzabile dai biodeteriogeni che determina-

no la vulnerabilità dei vari costituenti un bene;
- condizioni microclimatiche degli ambienti conservativi (vedi Capitolo 4) con particolare attenzione ai parametri dell'IAQ (vedi Capitolo 6);
- controllo dei locali/ambienti conservativi e dei materiali mediante ispezioni periodiche, monitoraggi pianificati nel tempo, controllo degli apparati di condizionamento (vedi Capitolo 4), mantenimento di idonee condizioni igieniche.

Come già descritto, un fattore importante per lo sviluppo biologico da tenere in considerazione è la disponibilità di acqua, componente principale delle cellule, indispensabile nei vari processi fisiologici e riproduttivi in relazione alle specifiche esigenze[2]. Sono soprattutto i microrganismi a necessitare di acqua almeno in alcune fasi della loro vita; ad esempio la germinazione delle spore[3] si verifica quando è disponibile acqua a sufficienza fermo restando che per le specie xerofile (§ 9.3) anche minime quantità di acqua sono sufficienti per superare la fase di dormienza.

Un altro fattore ambientale che influenza lo sviluppo dei biodeteriogeni è senza dubbio la variazione della temperatura. Infatti, l'attività enzimatica dei microrganismi ne è fortemente influenzata e questo può comportare l'inibizione delle reazioni biochimiche con il risultato di un arresto dello sviluppo. Analogamente gli insetti presentano un *optimum* di temperatura in cui le prestazioni metaboliche e fisiologiche si esplicano al meglio, ma allontanandosi da tali valori esiste la possibilità di un rallentamento dei tempi di crescita e di sviluppo[4] condizionando in alcune specie il numero di generazioni in un anno. Da notare altresì che l'assenza di movimenti dell'aria e la disomogeneità della temperatura superficiale possono determinare la formazione di microclimi localizzati in grado di fornire maggiore disponibilità di acqua rispetto ad altre zone dell'ambiente stesso.

10.2 Trattamenti e problematiche associate

Se si manifesta un attacco biologico può essere necessario intervenire con opportuni trattamenti e prevedere un successivo piano di risanamento ambientale al fine di collocare il materiale nei rispettivi locali conservativi[5]. Essendo le fotografie manufatti estremamente vulnerabili per la loro natura stratigrafica altamente composita (vedi Capitolo 2), la scelta di un intervento idoneo si baserà, oltre che sulla severità dell'aggressione e sull'identificazione della/le specie responsabile/i, anche sulla conoscenza della natura chimico-fisica dell'oggetto, in tutti i suoi componenti, e del suo valore artistico; tutto questo per evitare che la stessa metodologia usata possa danneggiare ulteriormente il bene. Per tale motivo si consiglia di ricorrere ai trattamenti disinfettanti/disinfestanti solo in casi estremi e sempre dopo aver valutato attentamente l'assenza di effetti collaterali al di fuori di quelli considerati accettabili, le alternative possibili e la sicurezza per operatori, fruitori del bene e per l'ambiente.

Il risanamento biologico dei beni culturali, quindi, deve essere svolto esclusivamente utilizzando tecniche e mezzi adeguati. In particolare, facendo specifico riferimento alle fotografie, la cui complessa struttura le rende suscettibili a numerosi danni da biodeteriogeni, si deve considerare che anche la conservazione presenta caratteristiche particolarmente problematiche.

Quando si ricorre ad un'opera di disinfezione/disinfestazione, la rego-

la generale vuole che essa soddisfi i seguenti requisiti fondamentali: agire contemporaneamente su ogni tipologia di biodeteriogeno, essere allo stesso tempo sia eco- che bio-compatibile e non essere dannosa per il materiale da trattare. Purtroppo anche se è possibile avvalersi di numerosi metodi (basati su principi fisici e chimici) non si dispone ancora di un processo che risponda appieno alle caratteristiche richieste. Pertanto, dopo aver deciso l'obbligatorietà del trattamento, si consiglia di valutare caso per caso vantaggi e svantaggi (gli stessi effetti collaterali possono danneggiare ulteriormente gli oggetti) di ciascun metodo parallelamente ai limiti di applicabilità e ai costi di realizzazione, anche in considerazione del fatto che il trattamento eseguito non protegge il bene da attacchi biologici successivi e pertanto risulta indispensabile verificarne l'efficacia nel tempo.

Metodi fisici e chimici Nell'ambito della conservazione di materiale archivistico e bibliotecario, i prodotti più comunemente utilizzati, soprattutto in passato, per trattamenti di massa sono stati quelli gassosi (fluoruro di solforile, acido cianidrico, timolo e ossido di etilene) per maggiore uniformità di dispersione, alta capacità di penetrazione, ampio spettro di azione e minore reattività con i materiali. I gas, estremamente tossici, possono essere utilizzati solo in autoclavi, camere di fumigazione o in altri ambienti purché perfettamente sigillati attenendosi a procedure definite e avvalendosi per l'esecuzione di personale altamente qualificato.

La fumigazione con ossido di etilene (EtO), ampiamente utilizzato in ambiente ospedaliero per la sterilizzazione di presidi medici e chirurgici, è stata negli ultimi decenni il trattamento maggiormente in uso perché, sebbene estremamente tossico per l'uomo e nocivo per l'ambiente (vi è una frequente revisione e regolamentazione del suo uso), rispetto agli altri gas, risulta essere l'unico a possedere tutte le caratteristiche richieste ad un buon biocida per interventi di massa e per piccole quantità di materiale contaminato nonostante siano stati riscontrati diversi effetti negativi sui beni desunti da studi riportati in bibliografia[6].

Detto anche ossirano, l'ossido di etilene fu preparato per la prima volta nel 1859 dal chimico francese Charles Adolphe Wurtz e il suo primo impiego per la disinfezione di alcuni manufatti museali risale solo agli anni Trenta. Attualmente l'IARC (International Agency for Research on Cancer) lo ha classificato per la sua tossicità cancerogeno di categoria 1[7] e, a causa della scarsa conoscenza dei rischi a lungo termine legati al desorbimento dai beni trattati che non è mai totale, questo metodo viene e sarà sempre meno utilizzato come avvalorato anche dalla decisione della Commissione europea dell'8 febbraio 2010 notificata con il numero C (2010) 751 concernente la non iscrizione di determinati principi attivi (tra cui figura l'ossido di etilene) nell'Allegato I, nell'Allegato IA o nell'Allegato IB della Direttiva 98/8/CE e dal Decreto direttoriale del Ministero della Salute del 20 giugno 2012 che attua la decisione. Nonostante le continue restrizioni, il suo utilizzo, sebbene notevolmente ridotto, è ancora abbastanza diffuso.

Analogamente all'EtO, le radiazioni gamma sono in grado di distruggere qualsiasi forma di vita presente sulle superfici e all'interno dei beni che si vogliono bonificare. Onde elettromagnetiche ad alta penetrazione, le sorgenti di radiazioni più comunemente utilizzate sono il Cobalto (60Co), il Cesio (137Cs) e gli acceleratori di elettroni. Tra 60Co e 137Cs la preferenza viene accordata senz'altro al primo, sia per motivi di disponibilità commerciale sia per la sua energia più elevata (energia media del fascio = 1,25 MeV). Va comunque evidenziato che, per motivi di disponibilità e sicurezza, nonché

per ragioni di convenienza economica, si è andata sviluppando nel mondo una spiccata tendenza a preferire le macchine acceleratrici di elettroni alle sorgenti radioisotopiche. Le energie impiegate nei processi di irraggiamento con radiazioni γ sono sufficientemente al di sotto delle dosi minime necessarie per indurre radioattività nei materiali irraggiati utilizzabili quindi, senza alcuna precauzione, subito dopo il trattamento.

L'assenza di residui chimici nel prodotto (nessun rischio per operatori, utenti e ambiente) e l'utilizzo immediato del materiale trattato (per assenza di contaminazione radioattiva) sono le peculiarità che potrebbero rendere le tecnologie di irraggiamento proponibili per trattamenti di massa con grossi quantitativi di materiale da bonificare in tempi brevi (in caso di infezioni e/o infestazioni a carattere episodico o soprattutto in seguito ad eventi eccezionali).

Nonostante il processo di irraggiamento sia molto studiato[8], a tutt'oggi non è ancora disponibile una procedura standard applicabile alle varie tipologie di beni in quanto vanno indagate e messe a punto di volta in volta le dosi e le condizioni di irraggiamento ottimali in rapporto al supporto e al biodeteriogeno. Il principale ostacolo allo sviluppo di questa tecnologia è costituito dagli effetti negativi che le radiazioni inducono nella carta, proporzionalmente alla dose somministrata, sia in maniera diretta sui legami intermolecolari della macromolecola di cellulosa (scissione del legame β-glucosidico con seguente depolimerizzazione e meccanismo di *crosslinking* con rafforzamento delle proprietà meccaniche e stabilizzazione dei materiali cellulosici), sia indirettamente attraverso un effetto chimico mediato dai radicali liberi che possono causare ulteriori cambiamenti. Poiché il fenomeno di depolimerizzazione diventa tipicamente dominante dopo i 10 kGy[9], valore superiore a quello richiesto per ottenere la disinfestazione (≤2 kGy)[10], l'ipotesi di un trattamento disinfestante con raggi gamma può essere tenuta in considerazione anche perché gli effetti dei radicali liberi, ai dosaggi indicati, sono da considerarsi pressocché insignificanti[11].

Nell'affrontare lo studio degli eventuali danni da radiazione sulle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali costitutivi di tali beni, Adamo *et al.* (2009, 2013)[12] hanno ritenuto opportuno effettuare alcuni test fisici preliminari per verificare gli effetti del trattamento sulla cromaticità e sulla solidità del colore di diverse tipologie di materiali fotografici ottenendo risultati soddisfacenti. Dovendo ricorrere a dosi maggiori per l'abbattimento dei microrganismi la scelta di un trattamento di irraggiamento deve essere fatta a valle di oculate considerazioni in base al materiale e al contesto, allo scopo di valutare il rapporto rischio/beneficio. Da notare che l'applicazione di più trattamenti con raggi gamma può provocare depolimerizzazione cumulativa della cellulosa e invecchiamento nei materiali.

Gli insetticidi, insieme alle atmosfere modificate, con la riduzione della concentrazione di ossigeno (O_2<0,1%)[13] o grazie all'aumento di anidride carbonica (CO_2>60%)[14], rappresentano la forma di lotta più utilizzata per debellare gli artropodi, anche se la tendenza è quella di un uso sempre più razionale dei biocidi.

A proposito degli insetticidi si ricorda che la Direttiva 98/8/CE (nell'Allegato V elenca i biocidi utilizzati per la protezione dei beni culturali) ha costituito il modello di riferimento ai fini dell'autorizzazione e dell'immissione sul mercato dei biocidi, per il riconoscimento reciproco delle autorizzazioni all'interno della Comunità e per l'elenco dei principi attivi impiegati. Tale Direttiva, recepita in Italia con D.Lgs 25 febbraio 2000, n. 174, è stata abro-

gata e sostituita dal Regolamento (UE) n. 528/2012 del 22 maggio 2012 del Parlamento europeo e del Consiglio, entrato in vigore il 1° settembre 2013, relativo alla messa a disposizione sul mercato e all'uso dei biocidi.

Nelle tabelle 10.1 e 10.2 vengono illustrati e sintetizzati i metodi fisici e gli agenti chimici (da abbinare a quelli meccanici di rimozione) di maggiore interesse per trattamenti disinfestanti e disinfettanti.

Tabella 10.1 – Principali metodi fisici di lotta.

METODI FISICI		
AGENTE	**MODALITÀ D'AZIONE EFFETTI TOSSICI**	**CAMPO D'AZIONE**
Raggi ultravioletti onde elettromagnetiche non ionizzanti, con lunghezza d'onda immediatamente inferiore alla luce visibile dall'occhio umano e immediatamente superiore a quella dei raggi X (400–100 nm).	Scarsa capacità di penetrazione nello spessore dei manufatti e degli oggetti. Degradazione degli acidi nucleici. Effetti mutageni. Danni agli occhi.	Azione disinfettante ma solo superficiale.
Microonde onde elettromagnetiche non ionizzanti, con lunghezza d'onda che si colloca tra le radiofrequenze e le frequenze più elevate dei raggi infrarossi (10^8–10^5nm).	Scarsa penetrazione. Distribuzione disomogenea del calore. Produzione di calore durante il trattamento efficace nella lotta agli artropodi.	Effetto disinfestante (a condizione che il materiale sia sufficientemente umido) ma non disinfettante. Non indicate per i materiali cartacei.
Raggi gamma (^{60}Co o ^{137}Cs) onde elettromagnetiche ionizzanti, con lunghezza d'onda <0,01 nm, costituite da fasci di fotoni o di elettroni accelerati.	Alta penetrazione. Degradazione degli acidi nucleici. Assenza di residui nel materiale trattato (utilizzo immediato dopo il trattamento). Modulazione delle dosi in base alle necessità.	Effetto biocida su tutte le forme di vita (vedi testo). Usati anche su materiale bagnato.
Atmosfere controllate/modificate variazione dei normali rapporti tra i gas generalmente presenti nell'aria, ottenibili con concentrazione di N_2 (o argon e elio) >99% o con livelli di CO_2>60%. Utilizzati anche i captatori di O_2.	Determinano condizioni incompatibili con la vita degli organismi aerobi non sporigeni. Alterazioni nel metabolismo per diminuzione della quantità di O_2 o aumento di CO_2 (morte dell'artropode per disidratazione).	Effetto disinfestante per Thysanura, Pscoptera, Coleoptera Dermestidae e Anobidae, Isoptera *Criptotermes brevis* (Walker, 1853) e *Calotermes flavicollis* (Fabricius, 1793) su materiale infestato (vedi testo).
Alte temperature valori compresi tra 54°C–60°C.	Disidratazione, alterazioni irreversibili sulla composizione lipidica, sulla coagulazione proteica e sull'attività enzimatica (morte dell'artropode).	Effetto disinfestante. Assolutamente non indicato per materiali cartacei.
Congelamento basse temperature, fino a –40°C.	Induzione di alterazioni fisiologiche nei tessuti biologici che risultano letali. Utilizzo prevalente in caso di calamità naturali (alluvioni, allagamenti ecc.) per bloccare lo sviluppo di tutte le forme di vita e organizzare il processo di recupero.	Effetto disinfestante (vedi testo). Numerose specie microbiche possono crescere a T≤0°C. Può indurre in alcuni microrganismi shock termico.

Tabella 10.2 – Principali agenti chimici di lotta.

AGENTI CHIMICI		
AGENTE	**MODALITÀ D'AZIONE EFFETTI TOSSICI**	**CAMPO D'AZIONE**
Insetticidi		
Carbammati derivati dell'acido carbammico (unico registrato ad usi civili: Bendiocarb).	Attività neurotossica per inibizione della colinesterasi e per inattivazione reversibile dell'acetilcolinesterasi. Azione per ingestione e contatto. Sostanze pericolose per l'uomo.	Effetto insetticida (es. utilizzati nella lotta agli Isoptera: *Calotermes flavicollis*).
Piretroidi classe di molecole simili a piretrine naturali estratte dai fiori del *Tanacetum cinerariifolium* (Trevir.) Sch. Bip. (piretro) della famiglia delle Asteraceae.	Attività neurotossica per interazione con i canali del sodio. Azione per contatto e ingestione. Molecole fotostabili. Non elevata tossicità per uomo e vertebrati in generale (come piretrine).	Effetto insetticida (es. trattamenti a base di Deltametrina per lotta a Thysanura e Pscoptera).
Piretrine naturali miscela di 6 componenti estratti dalle infiorescenze di *Tanacetum cinerariifolium* (Trevir.) Sch. Bip.	Attività neurotossica per interazione con i canali del sodio. Molecole fotolabili e termolabili. Azione per contatto. Bassa tossicità.	Effetto insetticida (es. piretrine naturali sinergizzate con Piperonil butossido per lotta a Thysanura e Pscoptera).
Neonicotinoidi derivati della nicotina (alcaloide presente nella pianta del tabacco – *Nicotiana tabacum* L. e in altre Solanaceae) immessi sul mercato negli ultimi venti anni.	Attività neurotossica per interazione con i recettori nicotinici. Azione per ingestione. Disponibili esclusivamente in formulazioni pronto uso. Tossicità per vertebrati/invertebrati[15].	Effetto insetticida (es. utilizzati nella lotta ai Blattodea – gel alimentare a base di Imidacloprid, Idrametilnon o Fipronil – Goliath-gel) (cfr. tab. 8.2).
Oxadiazine molecole bioattivate in seguito ad ingestione.	Attività neurotossica per interazione con i canali del sodio. Azione esclusiva per ingestione in seguito a digestione della molecola. Disponibili esclusivamente in formulazioni pronto uso. Accertata tossicità.	Effetto insetticida.
Bio-insetticidi		
Sostanze di natura vegetale (*Azadirachta indica* – nīm, conosciuta come *neem,* famiglia Meliaceae) o **microbica** (*Bacillus thuringensis*, Bt, Spinosad da *Saccharopolyspora spinosa*). Hanno principi attivi associati agli insetti.	Interazione con alcuni processi fisiologici o con l'equilibrio endocrino. Azione espletata quasi esclusivamente per ingestione. Pressoché innocui per organismi superiori.	Effetto insetticida. Il nīm ha anche effetto insettifugo, antifungino (per alcuni generi) e antibatterico (per alcuni ceppi).
Sostanze biorazionali		
Antiormoni (sostanze chimiche che riproducono i regolatori di crescita). **Feromoni** (sostanze naturali e volatili).	Interferenza selettiva con il comportamento e con i processi fisiologici specifici degli artropodi. Azione analoga a quella esplicata dalle sostanze ormonali prodotte naturalmente dagli stessi insetti. Nessuna tossicità per l'uomo.	Effetto larvicida (esca alimentare per Isoptera – specie sotterranee, con IGR – *Insect Growth Regulator*, ad effetto chitino-inibitore. (come Esaflumuron o Diflubenzuron) (cfr. tab. 8.2).
Sostanze repellenti naturali o di sintesi		
Oli essenziali (terpeni, multipli dell'isoprene – isoprenoidi) Eo. **Naftalene** noto come naftalina* (idrocarburo aromatico). **1,4-diclorobenzene**, *p*-diclorobenzene (alogenuro arilico). **Canfora**, D-(+)-canfora (chetone terpenico)**.	Accumulo nello strato lipidico della membrana cellulare con alterazione delle funzioni. Abitudine degli insetti di evitare determinate sostanze nel loro ambiente naturale. Azione tossica e allergizzante nell'uomo.	Effetto insetto-repellente. Effetto fungistatico e batteriostatico ma anche biocida: antibatterico, antimicotico, insetticida (oli essenziali) (vedi testo).

Gas		
Ozono O_3 (forma allotropica dell'ossigeno). Si forma quando l'ossigeno è sottoposto a scarica elettrica (vedi testo).	Attività fortemente ossidante (inferiore solo al fluoro) sulla parete cellulare. Irritante delle mucose. Vari tipi di effetti a carico delle vie respiratorie.	Effetto disinfettante e acaricida.
Agenti alchilanti* **		
Ossido di etilene o **ossirano** (etere ciclico) EtO. A temperatura e pressione ambiente è un gas incolore dall'odore dolciastro, estremamente infiammabile ed esplosivo se mescolato all'aria.	Denaturazione di proteine, acidi nucleici e componenti della membrana e parete cellulare. Residui nei prodotti trattati. Tossico per inalazione possiede effetti cancerogeni, mutageni e genotossici.	Effetto biocida per tutte le forme di vita presenti sulle superfici e all'interno dei materiali (vedi testo). Usato solo dopo asciugatura del materiale.
Alcoli		
Etanolo o **alcol etilico**, **isopropanolo** o **alcol isopropilico** o **2-propanolo**, **butanolo** o **alcol butilico**.	Denaturazione della cellula fino a causarne la disintegrazione. La capacità di denaturazione si esplica in presenza di acqua. Irritante tissutale per inalazione e per contatto. Disidratante.	Effetto disinfettante dipendente da concentrazione e formulazione. Non dimostrata l'azione sporicida. L'effetto antifungino dell'etanolo dipende dal tempo di contatto (vedi testo).
Derivati fenolici**		
o-fenilfenolo o **2-fenilfenolo** OPP, noto come Preventol® O extra.	Azione sulla membrana cellulare. Possibile effetto cancerogeno sull'uomo. Irritante per occhi e cute.	Effetto disinfettante (batteri, funghi e lieviti).
Timolo o **2-isopropil-5-metilfenolo** (fenolo monoterpenico). Si trova negli oli essenziali isolati da Lamiaceae (generi *Thymus*, *Origanum*, *Ocimum* e *Monarda*).	Alterazione della permeabilità della cellula microbica. Irritante locale. Può dar luogo a reazioni allergiche. Effetti genotossici sull'uomo.	Effetto fungistatico e batteriostatico ma anche battericida e in parte fungicida. Non sporocida.
Composti dell'ammonio quaternario (QACs o QUATS)***		
Cloruro di benzalconio o **benzalconio cloruro** o **alchil-dimetil-benzil ammonio cloruro** noto come Preventol® RI80/RI50, Zephiran®, ecc.	Distruzione della membrana cellulare, inattivazione enzimatica e denaturazione proteica. Irritante per occhi e cute.	Effetto soprattutto batteriostatico e fungistatico; battericida e fungicida ad elevate concentrazioni. Effetto non sporicida ma sporostatico.
Lauril-dimetil-carbetossimetil ammonio bromuro noto come Cequartyl BE.	Alterazione della permeabilità della parete cellulare con conseguente danno e morte cellulare. Irritante delle mucose.	Effetto soprattutto fungistatico (vedi testo).

* La naftalina è l'ingrediente delle tradizionali palline antitarme utilizzate soprattutto in passato.
** Estratta dal *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl.
*** L'EtO, come noto, è ampiamente utilizzato in ambiente ospedaliero per la sterilizzazione di presidi medici e chirurgici. Un altro noto agente alchilante usato soprattutto in passato è la formaldeide, prodotta commercialmente verso la fine dell'Ottocento. Gli effetti avversi sui materiali cartacei determinati da questo agente sono principalmente il *crosslinking* della cellulosa e la perdita della flessibilità. Riguardo la sua tossicità l'International Agency for Research on Cancer (IARC) l'ha classificata carcinogenica (Grupppo 1).
**** Sebbene il timolo sia un componente degli oli essenziali è stato inserito tra i derivati fenolici. L'utilizzo risale già al secolo scorso; era infatti usato in camere di fumigazione. Di questo gruppo fanno parte anche il pentaclorofenolo e il dichlorophen – Preventol GD (applicabile in solventi organici) che risulterebbe efficace contro lieviti e funghi filamentosi. Nell'UE i diclorofeni non dovrebbero essere più immessi come biocidi. Il pentaclorofenolo prodotto negli anni Trenta è stato molto utilizzato come fungicida. Considerato cancerogeno dallo IARC, il suo uso è severamente limitato nella UE e in moltri alti paesi.
***** Vengono citati i QACs più utilizzati. Vi è anche il didecil-dimetil ammonio cloruro, New Des® 50 (soprattutto per i materiali lapidei) che ha sostituito il New Des (cloruro di benzalconio), ora fuori commercio.

Il congelamento, invece, utilizzato soprattutto in caso di calamità naturali (alluvioni, allagamenti ecc.), ha principalmente lo scopo di bloccare lo sviluppo di tutte le forme di vita eventualmente presenti nei materiali e lo stoccaggio dei beni così trattati, consente di organizzare con calma il processo di recupero scegliendo oculatamente i luoghi, i tempi e soprattutto il processo di risanamento più idoneo. Pertanto non viene considerato un vero e proprio metodo di lotta, ma solo una fase di transizione; conseguentemente alla trasformazione dell'acqua in ghiaccio le alterazioni fisiologiche che si verificano nei tessuti biologici possono essere tali da risultare letali solo per gli insetti. Essi risultano vulnerabili anche se la temperatura di congelamento varia secondo la specie e lo stadio di sviluppo. Il successo del processo non è legato solo alla temperatura e ai tempi impiegati[16], ma anche alle modalità del congelamento, che deve avvenire nel minor tempo possibile per ridurre al minimo i danni meccanici accidentalmente provocati ai materiali.

Nel caso delle fotografie bisogna isolarle prima del trattamento, interfogliarle con carta siliconata per evitare adesioni durante le fasi successive e collocarle in buste di polietilene sigillate da cui è necessario rimuovere l'aria in eccesso. Tale accorgimento eviterà fenomeni di condensa o di cambi dimensionali (legati al rigonfiamento e restringimento) dovuti alla diminuzione della temperatura; in caso di grandi involucri risulta opportuno utilizzare degli adsorbitori.

Il congelamento può essere utilizzato però una sola volta per lastre di vetro alla gelatina e risulta inappropriato per fotografie con montaggi (come dagherrotipi, ambrotipi e tintotipi) e per lastre di vetro al collodio umido[17]. La riuscita della metodologia non può quindi prescindere da una preventiva conoscenza dei beni coinvolti e dalla sua applicabilità alle varie tecniche fotografiche, dati su cui deve essere impostato un corretto e specifico piano di emergenza per gestire eventi eccezionali.

10.3 Evoluzione delle metodiche antimicrobiche

Alla luce degli studi sulla tossicità delle molecole e sulle metodiche disponibili, si assiste ad una continua evoluzione della conoscenza, per cui composti ritenuti sicuri al momento, potrebbero non esserlo in futuro. Data l'importanza della tematica, che risulta sentita da molti conservatori impegnati ad affrontare scelte difficili e a volte complesse e onerose, si riportano, a completamento di quanto sintetizzato nelle tabelle 10.1 e 10.2, alcuni risultati relativi a studi effettuati negli ultimi anni, su vari trattamenti effettuati con agenti chimici antimicrobici. Gli studi sono stati condotti principalmente sulla carta.

Alcoli Studi recenti sono rivolti verso l'utilizzo di trattamenti con soluzioni idroalcoliche, nel caso di quantità di materiale cartaceo non elevato. Queste soluzioni vengono somministrate per irrorazione, immersione, tamponatura o esposizione ai vapori. Gli alcoli, la cui attività antimicrobica è ben nota, intervengono sulla permeabilità della membrana citoplasmatica del microrganismo e, causando la dispersione dei costituenti il citosol, portano alla disintegrazione della cellula. Sembrano agire coagulando e denaturando le proteine della cellula microbica e risultano più efficaci se usati in soluzione piuttosto che allo stato puro. La maggiore efficienza si raggiunge con concentrazioni tra il 50% e il 90% in relazione al tipo di alcol usato. Sono efficaci contro batteri e funghi (non per le forme sporigene) e virus, esplicando quin-

di un'azione disinfettante e non sterilizzante[18].

Tra gli alcoli l'etanolo (C_2H_6O), disinfettante, antisettico e conservante universalmente noto, è quello maggiormente utilizzato per il trattamento di beni culturali insieme all'alcol isopropilico (C_3H_8O). La massima attività antifungina dell'etanolo sulla carta è riportata da Nittérus (2000)[19] a concentrazioni tra il 50–80% in soluzione acquosa, raggiungendo l'apice al 70% (soluzione idro-alcolica al 70% v:v e cioè 30 ml di acqua distillata e 70 ml di alcol al 99%), per immersione o *spraying*, su una miscela di spore di *Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride*, *Aspergillus niger* e *Aspergillus flavus*. Il *Chaetomium* si è confermato meno sensibile all'azione della miscela e il dato è stato convalidato anche da uno studio di Sequeira *et al.* (2017)[20]. In questo lavoro l'autore testa soluzioni di etanolo (30%, 70% e 100%) su campioni di carta Whatman© #1 e su una miscela di *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium chrysogenum* e *Penicillium corylophilum*. L'attività biocida al 30% e al 100% risulta simile, ma al 70% l'effetto antifungino è totale e non si osserva alcuna crescita (nei 30 giorni successivi) di *Penicillium chrysogenum*. La soluzione al 70% ha impedito lo sviluppo di 4 delle 5 specie testate, sebbene *C. globosum* sia stato in grado di ricrescere dopo il trattamento. L'etanolo non ha determinato sulla carta effetti collaterali sia prima sia dopo invecchiamento. Concentrazioni maggiori non risultano indicate poiché la rapida denaturazione delle strutture lipidiche porta alla formazione di un coagulo protettivo attorno alla cellula che impedisce l'ulteriore penetrazione dell'alcol. Diversamente, concentrazioni minori non esplicano direttamente attività fungicida o citolitica, ma il continuo contatto con le cellule microbiche può portare alla inibizione della crescita. Bacilkova (2006)[21] riporta l'efficacia dei vapori di etanolo nei confronti di *Penicillium notatum* e *Aspergillus niger*; concentrazioni tra il 30 e il 90% possono inibire la ricrescita per almeno due settimane dopo l'evaporazione dell'alcol. Lucas *et al.* (2017)[22] in uno studio sull'effetto biocida nei confronti di alcuni microfunghi testati su stampe alla gelatina, hanno verificato la validità dell'uso di acqua distillata ed etanolo al 30–70%. L'azione dell'etanolo dipende molto anche dai tempi di contatto. A questo proposito ad esempio si riporta l'utilizzo di tempi necessari, per le specie fungine valutate, che sono di almeno 2–3 min (Lucas *et al.*, 2017)[23], 5 min (Nittérus, 2000)[24] e 2,5, 10, 15 min (Meier, 2006)[25] impiegando soluzioni acquose di alcol al 70%[26].

A concentrazioni superiori al 90% l'attività biocida cala drasticamente mentre prevale quella disidratante.

Di fondamentale importanza è impiegare alcol con elevato grado di purezza (non inferiore al 99,5%).

L'etanolo è considerato dallo IARC – International Agency for Research on Cancer, agenzia intergovernativa che fa parte del World Health Organization - WHO, come agente (Gruppo 1 – massima potenza cancerogena) carginogeno per l'uomo ma solo se ingerito nelle bevande alcoliche.

Studi confortanti sono stati effettuati con vapori di butanolo ($C_4H_{10}O$) da Tomšová *et al.* (2016; 2017)[27] e da Hricková *et al.* (2016)[28]. I primi valutano la misura delle proprietà ottiche di campioni di carta alla gelatina – FOMA Bohemia (FOMABROM, carta b/n baritata) dopo disinfezione con questo alcol e riportano altresì che la gelatina fotografica testata con raggi gamma (2,5 kGy) e con ossido di etilene mostra una perdita di viscosità dopo trattamento. Altresì Hricková e collaboratori considerano l'effetto dei vapori di butanolo sulla gelatina fotografica monitorando il suo peso molare (misurandone la viscosità intrinseca), la struttura primaria (mediante analisi amminoacidica)

e la struttura secondaria (mediante spettroscopia FTIR e XRD), ritenendolo un metodo di disinfezione promettente per le stampe fotografiche a base di gelatina, che necessita però di ulteriori approfondimenti.

L'isopropanolo anch'esso ampiamente usato nel campo della conservazione della carta, con una attività antimicrobica leggermente superiore all'etanolo, risulta possedere però una tossicità superiore per l'uomo[29].

Alla luce di quanto esposto si ritiene comunque, a parere di chi scrive, che l'utilizzo degli alcoli dovrebbe essere ulteriormente valutato nell'eventuale contesto di utilizzo.

Gli alcoli come l'etanolo di uso comune (denaturato), possono essere utilizzati nelle normali pratiche di igiene ambientale come ad esempio per superfici metalliche o vitree.

Composti organici a base di sali di ammonio quaternario Ulteriori biocidi ricorrenti in letteratura sono i composti organici a base di sali di ammonio quaternario (Quats), considerati microbicidi sporostatici in quanto inibiscono solo la germinazione e la crescita delle spore. Ad esempio il lauril-dimetil-carbossimetil ammonio bromuro è stato utilizzato soprattutto in passato per il controllo di microfunghi impiegato a una concentrazione del 5% in alcol denaturato al 70% applicato per nebulizzazione. Noto però è il suo effetto negativo sulla cellulosa e, per le proprietà tensioattive, anche sulla adesività degli inchiostri presenti sulla carta[30]. Altro composto usato è il dimetil-lauril-benzil ammonio bromuro noto disinfettante per uso medico (Sterinol™), privo però di potere sporicida. Il didecil-dimetil ammonio cloruro viene usato a una concentrazione di 3–5% in una soluzione di etanolo. Sulla carta i quats comunque tendono a persistere e ad accumularsi e alcuni sono considerati altamente tossici con effetto dannoso sul sistema immunitario[31]. Anche i composti dell'ammonio quaternario possono essere impiegati nelle pratiche di igiene ambientale.

Sali ed esteri di acidi Tra i sali e gli esteri di acidi di maggiore impiego (non citati in tabella) figurano il propionato di calcio, sale dell'acido propionico e gli esteri dell'acido *p*-idrossibenzene comunemente noti come parabeni. Il propionato di calcio, diffuso additivo alimentare, viene usato abitualmente per trattamenti di deacidificazione di supporti cartacei e cellulosici in genere (neutralizza l'acidità e conferisce riserva alcalina). Possiede una blanda attività inibitoria nei confronti di microfunghi e di alcuni batteri ma non risulta ancora l'applicazione specifica a solo carattere biocida anche perché l'efficacia antimicrobica si esprime al meglio a pH debolmente acido e l'aggiunta di sostanze acide non è compatibile nella pratica della conservazione della carta[32]. Tra gli effetti collaterali sulla cellulosa si evidenziano un aumento del pH e del grado di polimerizzazione e un incremento minore di luminosità e di ingiallimento[33].

Zotti *et al.* (2007)[34] hanno testato l'attività antifungina su carta del propionato in soluzione a base di etanolo e in soluzione acquosa verificando la maggiore efficacia del sale in alcol; l'etanolo infatti agisce da veicolo consentendo l'ingresso attraverso la parete cellulare del microrganismo. Anche Neves *et al.* (2009)[35] hanno portato avanti un lavoro analogo sull'azione di questo sale che però non ha dato risultati confortanti.

Parabeni I parabeni, utilizzati largamente nell'industria farmaceutica e cosmetica, conosciuti dagli anni Venti del secolo scorso, sono soprattutto fungistatici e batteriostatici. Neves *et al.* (2009)[36] hanno condotto uno studio per valutare gli esiti dell'applicazione diretta dei parabeni in soluzione su carta Whatman© #1. Sono stati utilizzati metilparabene e propilparabene (ri-

spettivamente allo 0,5% e all'1%) in soluzione etanolica all'85% con aggiunta di propionato di calcio. La soluzione ha portato a una totale inibizione della crescita fungina di due comuni specie fungine: *Penicillium corylophilum* e *Cladosporium* sp.

Nell'Unione europea i parabeni sono classificati come possibili interferenti endocrini e possibili cancerogeni. Negli USA non è stato definito alcun limite legale di concentrazione dei parabeni nei cosmetici. Il Cosmetic Ingredient Review (CIR), ente privato di riferimento che studia la sicurezza degli ingredienti cosmetici, nel 2005 e nel 2008 ha deciso di allinearsi alle norme europee: sono stati così cancellati dalla lista dei conservanti cosmetici autorizzati nella UE. Il Regolamento CE 358/2014 [Regolamento n. 358/2014 della Commissione, del 9 aprile 2014, che modifica l'allegato II e l'allegato V del regolamento (CE) n. 1223/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio sui prodotti cosmetici] ha proibito l'utilizzo di alcuni parabeni. Il Comitato Scientifico per la Sicurezza del Consumatore (Scientific Committee on Consumer Safety – SCCS) ha confermato che i parabeni sono sicuri per la salute nelle concentrazioni consentite dalle leggi europee (consigliando solo di abbassare il limite a 0,19% per la miscela di propil e butilparabene e isoderivati). Nel 2014 però l'Unione europea ha annunciato una ulteriore stretta all'uso dei parabeni in campo cosmetico imponendo nuovi limiti all'uso di queste due sostanze [Regolamento (UE) n. 1004/2014 della Commissione, del 18 settembre 2014, che modifica l'allegato V del regolamento (CE) n. 1223/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio sui prodotti cosmetici]. La concentrazione massima raccomandata pari allo 0,19% come esteri, dovrebbe essere convertita per avere una espressione nel suo equivalente come acido, pari allo 0,14%. I limiti sono entrati in vigore dal 16 aprile del 2015 (EUR-Lex – 32014R1004 – EN). Quindi sono stati messi al bando: isopropilparabene, isobutilparabene, fenilparabene, benzilparabene e pentilparabene. Il propilparabene e il butilparabene sono consentiti ma in concentrazioni estremamente limitate; per l'isopropilparabene, l'isobutilparabene e il fenilparabene invece, non ci sono ancora dati sufficienti.

Oli essenziali Maggiore attenzione oggi viene data, rispetto al passato, agli oli essenziali Eo e alle loro possibili applicazioni. Composti principalmente da terpeni aromatici (monoterpeni – C10 e sesquiterpeni – C15), possiedono un noto effetto insetto-repellente e una attività antimicrobica. Derivanti dal metabolismo secondario (con funzione ecologica) vengono prodotti dalle piante aromatiche in alcuni periodi della loro vita (anche come risposta ad esempio a stress ambientali). I monoterpeni sono classificati in base al loro grado di ossidazione (alcoli, fenoli ecc.). Sono formati da molecole organiche volatili solubili in solventi organici e insolubili in acqua. Gli oli essenziali possono essere classificati in base al chemiotipo/chemotipo, il costituente dominante.

I vapori degli oli essenziali di piante quali garofano, assenzio, eucalipto, coriandolo, basilico, lavanda, bergamotto ecc., esplicando attività fungistatica, possono essere usati come mezzo per arrestare la crescita anche di microfunghi cellulosolitici[37]. Tra questi di grande utilizzo è il monoterpene presente nell'essenza di legno di rosa e il linalolo. Il problema però è che le strutture terpenoidi tendono ad ossidarsi.

Rakotonirainy *et al.* (2005) hanno analizzato l'attività antifungina di oli essenziali estratti da varie piante dimostrando un'azione più fungistatica che fungicida dei vapori di linalolo (alla concentrazione di 415 ppm). La valutazione degli effetti negativi, sui tipi di carta analizzati, ha evidenziato una di-

minuzione del pH (nessuna variazione del grado di polimerizzazione e della luminosità[38] e in stampe alla gelatina ai sali d'argento una alterazione della densità ottica a causa delle reazioni di ossidazione indotte sull'argento dal linalolo che in seguito ad esposizione all'aria subisce ossidazione[39]. Testata sempre da Pietrzak *et al.* (2017)[40], sulla carta, anche una microatmosfera di olio di timo che ha mostrato azione microbiostatica senza determinare danni alle proprietà meccaniche e ottiche del supporto. J. Karbowska-Berent *et al.* (2017)[41] hanno condotto un lavoro esaminando vapori dell'olio essenziale derivato dalla *Melaleuca alternifolia* (*tea tree* o albero del tè), vapori di etanolo e di perossido di idrogeno. I vapori dell'olio essenziale e di H_2O_2 si confermano agenti ossidanti mentre l'etanolo mostra una risposta positiva.

Al momento gli Eo non sono applicabili direttamente alla carta e ai materiali fotografici, ma interessanti studi si stanno orientando verso possibili applicazioni in tal senso. La ricerca converge, infatti, nei prodotti generalmente considerati di scarto e derivanti dal processo di distillazione in corrente di vapore degli oli essenziali: gli idrolati, noti come "acque aromatiche"[42].

Ad esempio è stato condotto un lavoro con lo scopo di individuare se gli idrolati aggiunti al gel di Gellano, utilizzato normalmente come detergente per le opere su carta, siano in grado di conferire al gel anche un'azione microbicida senza danneggiare il bene[43]. È stata verificata l'azione fungicida di 16 idrolati vs 3 ceppi fungini cellulosolitici. I test in vitro hanno dimostrato che la metà degli idrolati ha fortemente inibito la crescita dei funghi, ma solo due di essi (*Monarda fistulosa*, *Citrus aurantium* subsp. *amara*) hanno evidenziato un'azione fungicida *in situ*[44]. I dati indicano un nuovo e interessante possibile utilizzo eco-innovativo degli idrolati. Naturalmente in questo ambito si fa riferimento a trattamenti localizzati e preliminari a mirati interventi di restauro. Il gel di Gellano, composto polisaccaridico ottenuto dalla fermentazione di colture batteriche di *Pseudomonas elodea*, come agente gelificante viene normalmente usato negli interventi di restauro per la pulitura della carta; è stato sperimentato anche per saggiare nuove tecniche di umidificazione e pulitura su stampe fotografiche all'albumina[45].

Altri sistemi Non citati in tabella per la lotta ai microrganismi di uso anche recente, testati, sono il biossido di titanio e le nanoparticelle di argento (AgNPs). L'attività microbicida del biossido di titanio in forma cristallina sarebbe dovuta alle sue proprietà fotocatalitiche, nel momento in cui infatti viene attivato con luce ultravioletta si comporta da forte ossidante determinando danni ai microrganismi. L'efficacia dipende dal tempo di contatto, dalla dose del catalizzatore, dall'intensità della luce e dalle specie di microrganismi[46]. Valutato altresì da Pietrzak *et al.* (2017)[47], come metodo di inibizione della crescita di batteri e anche di funghi, sulla carta, l'uso delle nanoparticelle (1–100 nm) di Ag, metallo noto sin dall'antichità come agente antibatterico, da applicare sulle immagini. Gli studi effettuati anche in altri settori hanno dimostrato la possibilità da parte di queste particelle di modificare il metabolismo e il DNA di alcuni microrganismi testati. Recentemente le nanoparticelle d'argento sono state testate da Zając *et al.* (2021)[48] anche su campioni di carte salate, all'albumina, al collodio e alla gelatina infettati con batteri e funghi, con buoni risultati. Tuttavia, non è noto come lo strato aggiuntivo di AgNPs influenzi le caratteristiche del materiale fotografico (colore, durata, pH) o il processo di invecchiamento, a seconda del tipo di tecnica. Nello stesso lavoro a confronto è stato valutato l'effetto dell'EtO e il suo impatto sui campioni fotografici. Il metodo AgNPs ha un impatto inferiore sulle proprietà dei materiali dei campioni rispetto all'EtO però richiede ulteriori

studi. Si precisa che gli AgNPs sono altamente tossici[49].

Altri studi[50] hanno interessato il perossido di idrogeno (citato precedentemente) vaporizzato (VHP), solo però sui materiali tessili, che ha mostrato un effetto biocida paragonabile a quello dell'EtO, con il vantaggio di un buon profilo di sicurezza e compatibilità ambientale.

Infine si menzionano gli isotiazolinoni, composti eterociclici in grado di controllare funghi e batteri e applicabili su vernici, adesivi e film plastici[51].

Per quanto riguarda in generale l'utilizzo dell'ozono e dei raggi UV (citati in tab.10.2) se ne parlerà più approfondiamente nel Capitolo 14 dedicato alle problematiche verificatesi durante la pandemia da SARS-COV 2 che ha coinvolto anche il mondo degli archivi, delle biblioteche e dei musei.

10.4 Analisi dei metodi di controllo

Una inchiesta condotta da Sequeira *et al.* (2014)[52], che ha sottoposto un questionario internazionale online a cui hanno partecipato venti paesi diversi, ha evidenziato che il trattamento antifungino maggiormente impiegato sulla carta deteriorata è stato quello dell'asciugatura e dell'applicazione di etanolo al 70% (49%); i trattamenti con ossido di etilene e raggi gamma sono risultati, invece, molto meno utilizzati (2% il primo e 9% il secondo). Questi dati sono significativi nell'indicare che l'ossido di etilene per via delle restrizioni continue e per via della maggiore consapevolezza di chi opera in questo campo, tende ad essere sempre meno utilizzato. Le tecnologie di irraggiamento potrebbero essere usate in caso di trattamenti di massa con grossi quantitativi di materiale da bonificare in tempi brevi, come ad esempio per eventi eccezionali dopo i quali si potrebbe dover manipolare anche materiale contaminato da acque nere. I trattamenti con raggi gamma possono essere utilizzati senza una preventiva asciugatura del materiale mentre con l'ossido di etilene si deve procedere a una preliminare disidratazione. L'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) dell'ONU, che per compiti istituzionali è promotrice dell'uso pacifico delle radiazioni e delle tecnologie nucleari, organizza programmi di cooperazione e progetti di ricerca coordinati, *meeting* e conferenze a livello internazionale proprio sulla possibilità di utilizzare le radiazioni gamma per la preservazione del patrimonio artistico[53].

Attualmente, in particolare nel caso delle fotografie, non ci sono studi completi in grado di indicare quale trattamento di disinfezione possa essere consigliato; infatti sono limitati gli articoli che trattano della disinfezione di questi materiali.

Per quanto riguarda l'uso dei biocidi liquidi e gassosi si fa presente che esso è controllato dal "Biocidal Products Regulation, BPR", Regolamento UE 528/2012 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alla messa a disposizione sul mercato e all'uso dei biocidi, e sue successive modificazioni (Regolamento UE n.334/2014 riguarda l'immissione sul mercato e l'uso di biocidi). Inoltre si sottolinea che i prodotti chimici impiegati nel campo dei beni culturali rientrano tutti nella categoria dei presidi medico-chirurgici e sono regolamentati dal D.P.R. n. 392 del 6 ottobre 1998: "Regolamento recante norme per la semplificazione dei procedimenti di autorizzazione alla produzione ed all'immissione in commercio di presidi medico-chirurgici, a norma dell'articolo 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n. 59" (G.U. Serie Generale, n. 266 del 13 novembre 1998).

Nel rispetto della salute umana e dell'ambiente ogni biocida possiede una

propria scheda tecnica di sicurezza che ne illustra le caratteristiche e le indicazioni sono espresse secondo diciture comuni in tutta l'Unione europea. Risulta opportuno in ogni caso quando si operano i trattamenti atti alla rimozione dei microrganismi utilizzare DPI specifici (indumenti protettivi, guanti, mascherine) e cappa aspirante munita degli opportuni filtri.

In passato molti trattamenti tossici sono stati applicati per controllare lo sviluppo microbico e i residui tossici costituiscono un pericolo per la salute degli operatori. Tuttavia metodi e composti in uso presentano ancora degli inconvenienti in termini di efficacia e di rischi per la salute e per gli effetti dannosi sui materiali. Soprattutto oggi, che è molto presente una preoccupazione crescente per le questioni ambientali e sanitarie, si stanno ricercando sistemi alternativi con minore tossicità. Per questo motivo l'esplorazione di trattamenti antimicrobici è un campo di ricerca ancora aperto e molto impegnativo. Risulta quindi imprescindibile realizzare campioni e modelli applicabili ai vari materiali per valutare l'efficacia dei prodotti e i loro effetti nel breve e nel lungo periodo.

Per il controllo dei microrganismi (a parte i trattamenti di massa legati a calamità naturali o eventi eccezionali) su un numero contenuto di documenti, l'orientamento è oggi rivolto a interventi di asciugatura condotti secondo modalità e criteri stabiliti, nonché di depolveratura anche con microaspiratori (che a prescindere dalle azioni successive si rivelano funzionali per arrestare la crescita dei microrganismi). Inoltre si ricorre ad applicazioni localizzate di sostanze antimicrobiche quali gli alcoli citati (alle concentrazioni indicate). La rimozione e la neutralizzazione dei resti dei microrganismi è molto importante soprattutto per i supporti cartacei. Molti prodotti chimici derivanti dai funghi possono infatti rimanere inalterati continuando nel tempo a decomporre il manufatto, inoltre, molecole complesse come i β-glucani non sono distrutti dai trattamenti di disinfezione e possono continuare a espletare la loro azione allergenica anche dopo la morte dei funghi. È anche noto e di frequente riscontro sui materiali cartacei e fotografici la presenza di deiezioni di insetti. Tali residui inorganici, a base di fosfati e solfati, oltre a produrre corrosioni sui materiali, specie i più delicati, rappresentano un fertile terreno colturale per batteri e funghi e quindi debbono essere asportati e/o resi inattivi[54].

Merita un cenno, per gli infestanti, il controllo di tipo biologico, via attualmente non percorribile in quanto negli ambienti di conservazione *indoor* vige la norma tolleranza zero per i *pests* e in questo tipo di gestione tale metodologia, prevedendo per definizione la presenza di prede e antagonisti (predatori e parassitoidi), risulta del tutto inaccettabile nelle aree preposte alla custodia di beni culturali. Le ricerche più avanzate sono limitate essenzialmente al settore agricolo e sanitario e gli elevati valori termoigrometrici richiesti ne escludono a priori l'impiego negli ambienti di conservazione.

In caso di infestazione è da sottolineare che con la segnalazione tempestiva, l'identificazione corretta del biodeteriogeno e dell'entità della popolazione, si ha la possibilità di stabilire una mirata strategia di eliminazione tale da consentire di ricorrere a interventi specifici localizzati evitando inutili quanto dispendiosi trattamenti di massa anche in ragione del fatto che gruppi diversi di insetti, o in certi casi anche specie diverse, necessitano di metodologie differenti.

Infine nella lotta ai roditori, discussa limitatamente in questo contesto, i principi attivi di uso attuale appartenengono alla categoria degli anticoagulanti tra i quali è opportuno prediligere quelli cosiddetti di seconda generazione[55] (bromadiolone, difenacoum, brodifacoum, flocoumafene ecc.). Per informazioni riguardo questa tematica si rimanda ai testi citati in bibliografia[56].

Note bibliografiche

[1] N. Valentin, *Microbial contamination in museum collection: organic materials*, in *Molecular Biology and Cultural Heritage*, Proceedings of the International Congress on Molecular and Cultural Heritage, C. Saiz-Jimenez (ed.), Sevilla, Lisse (NL), Balkema Publishers, 2003, pp. 85–91.

[2] J.G.B. Kapsalis, *Moisture sorption hysteresis*, in *Water Activity: Influences on Food Quality*, L.B. Rockland, G.K. Stewart (eds.), New York, Academic Press, 1978, pp. 144–177; T.P. Labuza, *Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water*, in *Water Relations of Foods*, R.B. Duckworth (ed.), London, Academic Press, 1978, pp. 135–172.

[3] K.F. Nielsen, *Mould growth on building materials. Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers*, Thesis, Technical University of Denmark, The Mycology Group, Lyngby, Biocentrum-DTU, 2001, pp. 1–106, DOI: 10.13140/RG.2.1.4725.2007; A.-L. Pasanen, T. Juutinen, M.J. Jantunen, P. Kalliokoski, *Occurrence and moisture requirements of microbial growth in building materials*, in *International Biodeterioration and Biodegradation*, 30, 4, 1992, pp. 273–283, DOI: 10.1016/0964-8305(92)90033-K.

[4] L. Masutti, S. Zangheri, *Entomologia Generale e Applicata*, Padova, CEDAM, 2001.

[5] D. Pinniger 2012, *op. cit.*; C.A. Geiger, C. Cox, *Pest Prevention by Design. Authoritative Guidelines for Designing Pests out of Structures*, *11/28/12 Version*, SF Environment, ICC, International Code Council, 2012, pp. 1–88, da: https://sfenvironment.org/sites/default/files/fliers/files/final_ppbd_guidelines_12-5-12.pdf (consultato il 16/06/2022).

[6] J.H. Hofenk de Graaf, W.G.Th. Roelofs, *Investigation of the long term effects of ethylene oxide and gamma irradiation on the ageing of paper*, in *Contributions of the Central Research Laboratory to the field of Conservation and Restoration*, H. Verschoor, J. Mosk (eds.), Amsterdam, Central Research Laboratory for Objects of Art and Science, 1994, pp. 53–64; M. Del Pilar Ponce-Jiménez, F.A. Lópezdellamary Toral, E. Delgado Fornue *Antifungal protection and sizing paper with chitosan salts and cellulose ethers, Part 1, physical effects*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 41, 3, 2002, pp. 243–254, DOI: 10.1179/019713602806082584; M.P. Nugari, C. Fanelli, S. Palanti, *Materiali Organici*, in *La biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol. 1, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvadori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 322–326; T.A. Parker, *Emergency Management - 3.10 Integrated Pest management*, NDCC, 2007, da: https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/3.-emergency-management/3.10-integrated-pest-management (consultato il 15/06/2022).

[7] IARC, *1,3-butadiene, ethylene oxide and vinyl halides (vinyl fluoride, vinyl chloride and vinyl bromide)*, in *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, 97, 2008, pp. 185–309.

[8] M. Adamo, M. Giovanotti, G. Magaudda, M. Plossi-Zappalà, F. Rocchetti, G. Rossi, *Effect of gamma rays on pure cellulose paper as a model for the study of a treatment of "biological recovery" of biodeteriorated books*, in *Restaurator*, 19, 1998, pp. 41–59; M. Adamo, M. Brizzi, G. Magaudda, G. Martinelli, M. Plossi-Zappalà, F. Rocchetti, F. Savagnone, *Gamma radiation of paper in different environmental conditions: chemical, physical and microbiological analysis*, in *Restaurator*, 22, 2001, pp. 107–131, DOI: 10.1515/REST.2001.107; G. Magaudda, M. Adamo, F. Rocchetti, *Damage caused by destructive insects to cellulose previously subjected to gamma-ray irradiation and artificial aging*, in *Restaurator*, 22, 4, 2001, pp. 242–250, DOI: 10.1515/REST.2001.242; M. Adamo, G. Magaudda, *Susceptibility of printed paper to attack of chewing insects after gamma radiation and aging*, in *Restaurator*, 2003, 24, 2, pp. 95–105, DOI: 10.1515/REST.2003.95; M. Adamo, G. Magaudda, P. Trionfetti Nisini, G. Tronelli, *Susceptibility of cellulose to attack of cellulolytic microfungi after gamma-rays irradiation and ageing*, in *Restaurator*, 24, 3, 2003, pp. 145–151, DOI: 10.1515/REST.2003.145; M.L. Otero D'Almeida, P. de Souza Medeiros Barbosa, M.F. Guerra Baratti, S.I. Borrely, *Radiation effects on the integrity of paper*, in *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 2009, pp. 489–492; M.M. Rizzo, L.D.B. Machado, P.R. Rela, Y. Kodama, *Gamma rays irradiation process on restored painting from the XVII century*, in *International Nuclear Atlantic Conference (INAC), 27 September–2 October 2009, Rio de Janeiro, Brazil, Ed. Associação Brasileira de Energia Nuclear*, 2009, pp. 1–7; J.V. Moise, M.

Virgolici, C.D. Negut, M. Manea, M. Alexandru, L. Trandafir, F.L. Zorila, C.M. Talasman, D. Manea, S. Nisipeanu, M. Haiducu, Z. Balan, *Establishing the irradiation dose for paper decontamination*, in *Radiation Physics and Chemistry*, 81, 2012, pp. 1045–1050.

[9] S. Baccaro, M. Carewska, C. Casieri, A. Cemmi, A. Lepore, *Structure modifications and interaction with moisture in gamma-irradiated pure cellulose by thermal analysis and infrared spectroscopy*, in *Polymer Degradation and Stability*, 98, 2013, pp. 2005–2010, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.011.

[10] IAEA, *Technical Cooperation Project – RER 8015: Using Nuclear Techniques for the Characterization and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the European Region*, Austria, Vienna Nuclear Techniques for Preservation of Cultural Heritage Artefacts, 2009, pp. 1–44.

[11] *Ibid.*

[12] F. Rocchetti, M. Adamo, G. Magaudda, *Fastness of printing inks subjected to gamma ray irradiation*, in *Restaurator*, 23, 2000, pp. 15–26, DOI: 10.1515/REST.2002.15; M. Adamo, M. De Francesco, D. Matè, E. Ruschioni, M.C. Sclocchi, *Valutazione degli effetti dell'irraggiamento gamma sulla stabilità cromatica di stampe fotografiche*, in *Lo Stato dell'Arte 7*, VII Congresso Nazionale IGIIC, Napoli 8–10 ottobre 2009, Firenze, Nardini Editore, pp. 365–372; M. Adamo, M. De Francesco, D. Matè, *Irraggiamento gamma su stampe colorate all'anilina. Valutazione della solidità del colore*, in *Kermes*, XXVI, 91, 2013, pp. 65–74.

[13] A. Berzolla, M.C. Reguzzi, E. Chiappini, *Controlled atmospheres against insect pests in museums: a review and some considerations*, in *Journal of Entomology and Acarological Research*, II, 43, 2, pp. 197–204, DOI: 10.4081/jear.2011.197.

[14] D. Pinniger, *Pest Management in Museums, Archives, and Historic Houses*, London, Archetype Publications, 2001.

[15] D. Gibbons, C. Morrissey, P. Mineau, *A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife*, in *Environmental Science Pollution Research*, 22, 1, 2015, pp. 103–108, DOI: 10.1007/s11356-014-3180-5.

[16] M.-L.E. Florian, *Heritage Eaters: Insects and Fungi*, in *Heritage Collections*, London, James & James, Science Publishers, 1997; D. Pinniger, *New developments in pest management for collections in museums and historic houses*, in *Proceedings of the 7th International Conference on Urban Pests, 7–10 August 2011 Ouro Preto, Brazil*, W.H. Robinson, A.E. de Carvalho Campos (eds.), São Paulo, Printed by Instituto Biológico, 2011, pp. 17–21.

[17] B. Lavédrine, *A Guide to the Preventive Conservation of Photographic Collections*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2003; P. Trematerra, D. Pinniger 2014, *op. cit.*

[18] B. Bacílková, *Study of the effect of butanol vapours and other alcohols on fungi*, in *Restaurator,* 27, 3, 2006, pp. 186–199, DOI: 10.1515/REST.2006.186; S.O. Sequeira, E.J Cabrita, M.F. Macedo, *Antifungals on paper conservation: An overview*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 74, 2012, pp. 67–86, DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.07.01; S.O. Sequeira, *Fungal biodeterioration of paper: Development of safer and accessible conservation treatments*, Facultade de Ciensas e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2016, pp. 1–258.

[19] M. Nittérus, *Fungi in archives and libraries*, in *Restaurator*, 21, 1**,** 2000, pp. 25–40, DOI: 10.1515/REST.2000.25.

[20] S.O. Sequeira, A.J.L Phillips, E.J. Cabrita, M.F. Macedo, *Ethanol as an antifungal treatment for paper: short-term and long-term effects*, in *Studies in Conservation*, 62, 1, 2017, pp. 33–42, DOI: 10.1080/00393630.2015.1137428.

[21] B. Bacílková 2006, *op. cit.*

[22] C. Lucas, F. Déniel, P. Dantigny*, Ethanol as an antifungal treatment for silver gelatin prints: implementation methods evaluation*, in *Restaurator*, 38, 3, 2017, pp. 1–14, DOI: 10.1515/res-2017-0003.

[23] *Ibid.*

[24] M. Nittérus 2000, *op. cit.*

[25] C. Meier, *Schimmelpilze auf papier. Fungizide*

wirkung von isopropanol und ethanol, in *Papier-Restaurierung*, 7, 1, 2006, pp. 24–31.

[26] C. Lucas *et al.* 2017, *op. cit.*

[27] K. Tomšová, M. Ďurovič, K. Drábková, *The effect of disinfection methods on the stability of photographic gelatin*, in Polym. Degrad. Stab. 129, 2016, pp. 1–6, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.034; K. Tomšová, M. Ďurovič, *Influence of disinfection methods on the stability of black and white silver gelatin prints*, in *Journal of Cultural Heritage*, 24, 2017, pp. 78–85, DOI. 10.1016/j.culher.2016.10.004.

[28] K. Hricková, K. Drábková, M. Ďurovič, *The effect of disinfection methods on the stability of photographic gelatin*, in *Polymer Degradation and Stability*, 129, 2016, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.034.

[29] S.O. Sequeira 2016, *op. cit.*

[30] R. Strassberg, *The use of fumigants in archival repositories*, in *The American Archivist*, 41, 1, 1978, pp. 25–36.

[31] M. Nittérus, *Ethanol as fungal sanitizer in paper conservation*, in *Restaurator*, 21, 1, 2000, pp. 101-115, DOI: 10.1515/REST.2000.101.

[32] S.O. Sequeira, E.J. Cabrita, M.F. Macedo, *Antifungals on paper conservation: An overview*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 74, 2012, pp. 67–86, DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.07.011.

[33] E. Neves, *Avaliação da acção antifúngica e desacidificante de uma nova mistura: Aplicação à conservação e tratamento do papel*, Master thesis, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2006.

[34] M. Zotti, A. Ferroni, P. Calvini, *Inhibition properties of simple fungistatic compounds on fungi isolated from foxing spots*, in *Restaurator*, 28, 3, pp. 201–217, DOI: 10.1515/REST.2007.201.

[35] E.R. Neves, A.J. Lander Phillips, S. Schäfer, M.F. Macedo, *Antifungal effect of different methyl and propyl paraben mixtures on the treatment of paper biodeterioration,* in *International Biodeterioration & Biodegradation,* 63, 3, 2009, pp. 267–272, DOI: 10.1016/j.ibiod.2008.07.01.

[36] *Ibid.*

[37] G. De Billerbeck, C. Roques, J.L. Fonvielle, *Preventive treatment of the atmosphere of cultural heritage premises by essential oil volatile. Evaluation of antifungal activity of citronella essential oil*, in *Fungi. A Threat for the People and Cultural Heritage through Micro-Organisms*, Munchen, REMA, 2001, pp. 31–33.

[38] M. Rakotonirainy, B. Lavédrine, *Screening for antifungal activity of essential oils and related compounds to control the biocontamination in libraries and archives storage areas*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 55, 2005, pp. 141–147.

[39] M. Rakotonirainy, F. Juchauld, M. Gillet, M. Othman-Choulak, B. Lavédrine, *The effect of linalool vapour on silver-gelatine photographs and bookbinding leathers*, in *Restaurator*, 28, 2007, pp. 95–111.

[40] K. Pietrzak, A. Otlewska, D. Danielewicz, K. Dybka, D. Pangallo, L. Kraková, A. Puškárová, M. Bucková, V. Scholtz, M. Durovic, B. Surma-Slusarska, K. Demnerová, B. Gutarowska, *Disinfection of archival documents using thyme essential oil, silver nanoparticles misting and low temperature plasma*, in *Journal of Cultural Heritage*, 24, 2017, pp. 69–77, DOI: 10.1016/j.culher.2016.10.011.

[41] J. Karbowska-Berent, B. Gomiak, L. Czajkowska-Wagner, K. Rafalska, J. Jarmiłko, T. Kozielec, *The initial disinfection of paper-based historic items – Observations on some simple suggested methods* in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 30, 2017, pp. 1–7, DOI: 10.1016/j.ibiod.2017.03.001.

[42] M.G. Bellardi, P. Mattarelli, M Modesto, L. Barbanti, M. Michelozzi, G. Cencetti, A. Girolamo, F. Mondello, M.C. Sclocchi, M. Di Vito, *Applicazioni di olio essenziale e idrolato di Monarda citriodora*, in *Natural 1*, aprile, 2017, pp. 33–41.

[43] M. Di Vito, M.G. Bellardi, P. Colaizzi, D. Ruggiero, Sotgiu, S. Jannuccelli, M. Michelozzi, F. Mondello, P. Mattarelli, M.C. Sclocchi, *Idrolati: Nuove possibili applicazioni nel campo dei beni culturali*, in *Gli Oli Essenziali: Fotochimica e Nuove Applicazioni*, Abstract, Giornata formativa, ICB-CNR SIROE, Catania,

30 giugno 2017, p. 45; M. Di Vito, M.G. Bellardi, P. Colaizzi, D. Ruggiero, C. Mazzuca, L. Micheli, S. Sotgiu, S. Iannuccelli, M. Michelozzi, F. Mondello, M.C. Sclocchi, P. Mattarelli, *Oli essenziali: un possibile aiuto per preservare le nostre opere d'art*e, in *Natural 1*, 167, 2017, pp. 76–77.

[44] M. Di Vito, M.G. Bellardi, P. Colaizzi, D. Ruggiero, C. Mazzuca, L. Micheli, S. Sotgiu, S. Iannuccelli, M. Michelozzi, F. Mondello, P. Mattarelli, M.C. Sclocchi, *Hydrolates and gellan: an eco-innovative synergy for safe cleaning of paper artworks*, in *Studies in Conservation*, 63, 2018, pp. 13–23, DOI: 10.1080/00393630.2017.1389442.

[45] B. Costantini, B. Cattaneo, D. Matè, *A research on lining removal and surface cleaning of albumen prints using gellan gum*, poster, Meeting di Amsterdam ICOM-CC Photographic Materials Working, Group Interim Meeting September 21 – September 24, 2016, The Rijksmuseum, Amsterdam.

[46] B. Gutarowska, K. Demnerová, D. Danielewicz, K. Dybka-Stępień, *A Modern Approach to Biodeterioration Assessment and the Disinfection of Historical Book Collections*, Łódź, Łódź University of Technology, 2016.

[47] K. Pietrzak *et al.* 2017, *op. cit.*;

[48] I. Zając, J. Szulc, B. Gutarowska, *The effect of ethylene oxide and silver nanoparticles on photographic models in the context of disinfection of photo albums*, in *Journal of Cultural Heritage*, 51, September–October 2021, pp. 59–70, DOI: 10.1016/j.culher.2021.07.003.

[49] K. Pietrzak, B. Gutarowska, *The effectiveness of photocatalytic ionization disinfection of filter materials*, in *Polish Journal of Microbiology*, 2, 62, 2013, pp. 131–139; B. Gutarowska, K. Pietrzak, J. Skóra, *Disinfection as a factor reducing microbial threat at workpost in museum and library – a comparison of the effectiveness of photocatalytic ionization, UV irradiation and chemical misting*, in *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3, 3, 2014, pp. 945–959; K. Pietrzak, M. Twarużek, A. Czyżowska, R. Kosicki, B. Gutarowska, *Influence of silver nanoparticles on metabolism and toxicity of moulds*, in *Acta Biochimica Polonica*, 62, 4, 2015, pp. 851–857, DOI: 10.18388/abp.2015_1146; K. Pietrzak, B. Gutarowska, W. Machnowski, U. Mikołajczyk, *Antimicrobial properties of silver nanoparticles misting on cotton fabrics*, in *Textile Research Journal*, 86, 2016, pp. 812–822, DOI: 10.1177/0040517515596933.

[50] A. Wawrzyk, B. Gutarowska, D. Rybitwa, K. Pietrzak, W. Machnowski, H. Wrzosek, A. Papis, A. Walawska, A. Otlewska, J. Szulc, J. Adamiak, *Vapourised hydrogen peroxide (VHP) and ethylene oxide (EtO) methods for disinfecting historical cotton textiles from the Auschwitz-Birkenau State Museum in Oświęcim, Poland*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 133, 2018, pp. 42–51, DOI: doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.05.016.

[51] M.S. Rakotonirainy, F. Flieder, *L'assainissement des aires de stockage par thermonebulisation,* in *Nouvelles de l'ARSAG*, 10, 1994, pp. 16–17.

[52] S.O. Sequeira, M.F. Macedo, *Fungal biodeterioration of paper: how are paper and book conservators dealing with it? An international survey,* in *Restaurator*, 35, 2, 2014, pp. 181–199, DOI: 10.1515/rest-2014-0005.

[53] IAEA, *Nuclear Techniques for Cultural Heritage Research*, IAEA Radiation Technology Series No 2, Vienna, Austria, 2011.

[54] D. Capizzi, L. Santini, *I Roditori Italiani. Ecologia, Impatto sulle Attività Umane e sugli Ecosistemi, Gestione delle Popolazioni*, Roma, A. Delfino, 2007.

[55] *Ibid.*

[56] M. Adamo, D. Matè, P. Trematerra, S*ulle Fotografie Danneggiate. Gestione degli Organismi Infestanti*, Roma, ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 2015, da: https://iris.enea.it/handle/20.500.12079/5098 (consultato il 16/06/2022).

11 Arredi, contenitori e involucri

Donatella Matè, Federica Delia

Lo sviluppo di strategie per la conservazione del patrimonio fotografico non può prescindere dall'assicurare alle opere "contenitori" conservativi ed espositivi che rispondano a precisi requisiti di idoneità. I contenitori sono gli spazi confinati in cui vengono alloggiate le collezioni e, intesi nel senso più ampio del termine, vi rientrano gli edifici, i locali di deposito, gli arredi, le vetrine, le scatole, i raccoglitori, le cornici, le buste e i montaggi espositivi, secondo una scala crescente di livello di contatto con i singoli beni. Essi contribuiscono in maniera fondamentale a creare intorno ai manufatti le condizioni che ne determinano la durata nel tempo.

Nel progettare nuove sistemazioni o allestimenti, oppure adeguamenti o espansioni di depositi/locali conservativi, si dovranno operare precise scelte finalizzate alla corretta gestione delle collezioni. Le decisioni da adottare dovranno essere prese sia in relazione alle specifiche caratteristiche qualitative, quantitative e d'ingombro, al loro stato di conservazione, alla compatibilità tra materiali diversi, sia in funzione dell'aspettativa di vita prevedibile (archiviazione a medio o lungo termine) e degli eventuali futuri implementi delle raccolte.

Le problematiche da affrontare sono strettamente correlate alla grande varietà delle fotografie siano esse storiche e/o contemporanee, in termini di composizione materica, dimensioni e struttura. La vasta sperimentazione e la veloce evoluzione delle tecniche fotografiche dal XIX secolo ad oggi, determina la necessità di effettuare un'attenta analisi delle raccolte da parte del conservatore che dovrà porre l'attenzione sulla specificità del materiale da salvaguardare, non sempre riconducibile a una definita tipologia, date le innumerevoli varianti legate all'artigianalità della produzione. Le raccolte sono, in alcuni casi, costituite da immagini con caratteristiche simili, per le quali si può prevedere un'archiviazione che rispetti l'ordinamento originario; più frequentemente ci si imbatte però in collezioni formate da tipologie di materiali e procedimenti fotografici differenti, la cui coesistenza all'interno di uno stesso ambiente o microambiente può presentare aspetti critici. Ad esempio le stampe argentiche, anche se ottenute con procedimenti diversi, si possono considerare pienamente compatibili, mentre è preferibile alloggiare in contenitori distinti negativi e positivi. È invece assolutamente da applicare la conservazione separata delle pellicole in nitrato, diacetato e triacetato di cellulosa, soprattutto se manifestano evidenti segni di degradazione (vedi Capitolo 12), da altri materiali fotografici.

Un altro criterio di discriminazione è la verifica dello stato di conservazione da effettuarsi per ogni singolo materiale. La constatazione di un processo di deterioramento in atto o pregresso può portare a scegliere specifiche tipologie di contenitori, raccoglitori o involucri, oppure a decidere la separazione di tali documenti dal resto della raccolta: in questo caso si dovrà sacrificare l'ordinamento storico a vantaggio della prevenzione. Esemplificando è il caso di materiali che presentino attacchi microbiologici o danni fisici come sollevamenti, distacchi di emulsioni ecc. o chimici (come ad esempio la "sindrome dell'aceto" – *vinegar syndrome*), per i quali si dovrà prevedere una sistemazione diversa e separata.

L'identificazione delle tecniche fotografiche e la valutazione dello stato di

conservazione delle fotografie è dunque essenziale per condurre alla scelta delle più idonee soluzioni di alloggiamento. La ricerca scientifica, l'ingegneristica e la tecnologia dei materiali studiano, mettono a punto e propongono una grande varietà di sistemi, tecniche e prodotti mutuabili anche nell'ambito della conservazione preventiva (basti pensare alle tecnologie per il risparmio energetico e per lo smaltimento del calore che penetra negli edifici: coperture e vernici riflettenti, *cool roof*, materiali tecnici), tra i quali è spesso difficile stabilire quali siano sicuri e compatibili e avere la certezza di adottare soluzioni che si rivelino giuste e appropriate anche a lungo termine. Sovente gli adeguamenti ai fini conservativi devono essere forzatamente contenuti nei costi e nella complessità, soprattutto per quanto riguarda l'impiantistica, sia per le limitate risorse finanziarie e di personale sia per le ridotte possibilità d'intervento in edifici storici, prestigiosi "contenitori" della maggior parte delle collezioni artistiche, storiche, documentarie, sottoposti anch'essi a tutela.

11.1 Specifiche per gli arredi

Per arredi si intendono tutte le installazioni atte a ospitare i beni. Pur non essendo generalmente a diretto contatto con le fotografie da tutelare, le caratteristiche costruttive e la composizione di tali strutture rivestono un'importanza fondamentale nelle dinamiche conservative[1].

Gli alloggiamenti, realizzati con materiali idonei, devono innanzitutto essere collocati lontano da finestre, tubature a vista, impianti elettrici, impianti di riscaldamento o di condizionamento e da tutti quegli elementi che possono costituire una fonte di pericolo per la sicurezza dei beni.

Il legno, per le sue elevate capacità igroscopiche, esplica un'efficace azione passiva di stabilizzazione dell'umidità relativa in ambienti privi di controllo climatico e/o frequentati da pubblico e personale. Tuttavia alcune particolari caratteristiche come la suscettibilità ad attacchi di natura biologica, le spiccate proprietà ossidanti della lignina, uno dei suoi principali componenti, e la scarsa adattabilità strutturale alle esigenze più varie, non lo rendono materiale consigliabile per un'archiviazione corretta e a lungo termine delle fotografie. Anche i trattamenti superficiali e d'impregnazione con prodotti chimici, cui viene sottoposto il legno durante la manifattura, possono risultare dannosi per supporti, emulsioni ecc. Valutazioni ancor più negative possono essere fatte per arredi, vetrine, contenitori, cassetti, pannelli e sostegni costruiti o contenenti derivati del legno (multistrato, truciolato, compensato, pannelli di fibra MDF – *Medium density fibreboard*, LDF – *Low density fibreboard* e HDF – *Hard density fibreboard* ecc.), ottenuti con scarti di lavorazioni e assemblati con adesivi e rivestimenti sintetici anche a base di formaldeide e/o altre sostanze dannose[2].

Scaffalature, armadi, mobili e vetrine in legno sono stati in passato l'arredamento più comune di depositi, sale di consultazione, sale espositive di archivi, biblioteche e musei; ritenuti essi stessi un bene da proteggere e salvaguardare, per le motivazioni appena illustrate, oggi non sono più raccomandati. Considerazioni specifiche sono però doverose per le collezioni fotografiche conservate in arredi e contenitori lignei con un valore storico-artistico particolare. In questi contesti è possibile attuare soltanto limitati adeguamenti in materia di sicurezza e conservazione e apportare alcune correzioni specifiche per le diverse situazioni al fine di contenere il rischio

di deterioramento (ispezioni frequenti, depolverature periodiche, mantenimento di elevati livelli di igiene, monitoraggio di regolazione dei parametri termoigrometrici).

A titolo informativo si cita il metodo valutativo utilizzato per avere informazioni in merito al rischio delle emissioni di acidi organici volatili e aldeidi (quali la formaldeide), una delle problematiche più frequenti nel caso del legno: si tratta dell'"Oddy test", messo a punto nel 1973 dal conservatore Andrew Oddy per il British Museum al fine di valutare l'*offgassing* di tale materiale. Indicatori metallici di rame, piombo e argento venivano messi a contatto con i materiali da testare all'interno di una provetta in cui veniva creato un microambiente idoneo (T di 30–60°C e UR del 30–60%). Sebbene presentasse un limite nella procedura interpretativa dei dati, basata sulla individuale osservazione macroscopica, risultando pertanto soggettivo, il test è stato applicato in diverse realtà museali come il J. Paul Getty Museum di Los Angeles, il Nelson-Atkins Museum of Art di Kansas City e il Metropolitan Museum of Art di New York. Allo scopo di migliorarlo, negli anni vi sono state apportate numerose modifiche fino a ipotizzarne la sostituzione con metodi che utilizzano la gascromatografia-spettrometria di massa (GC-MS) e/o la fluorescenza ai raggi X (XRF) e/o la diffrazione ai raggi X (XRD). Diversi studi, nell'ambito di un progetto di ricerca messo a punto dalla Library of Congress, sono stati effettuati per valutare gli Oddy test sui materiali che entrano in contatto con le collezioni[3].

Nel caso in cui gli arredi lignei non possano però essere eliminati per ragioni economiche, estetiche o semplicemente storiche, è possibile applicare al loro interno pitture acriliche o vernici poliestere, avendo cura di ventilare a lungo prima di alloggiarvi i materiali da conservare. Utile può risultare l'applicazione di pellicole cosiddette "barriera" (*vapor barrier*) come il Marvelseal®, consigliato anche da Lavédrine (2003). Questo prodotto è in grado di proteggere dalle emissioni nocive di varie sostanze e di operare un contenimento nei confronti dell'*offgassing* derivante dal legno; viene utilizzato ugualmente per il controllo dell'umidità e può essere collocato all'interno di contenitori espositivi. Ve ne sono di vari tipi: il Marvelseal®360 (strati di nylon/polietilene/alluminio/polietilene), il Marvelseal®470 (strati di polipropilene/polietilene/alluminio/polietilene), il Marvelseal®585 (Tyvek®/polietilene/alluminio/polietilene/etilene vinil acetato) ecc. Vengono usati altresì per allestire ambienti a basso tenore di ossigeno a scopo disinfestante[4].

Nel tempo, gli arredi lignei sono stati quasi completamente soppiantati dai più moderni scaffali metallici adatti a tutte le esigenze. Ne esistono di diverse dimensioni, assemblabili o autoportanti, di varie tipologie (aperti, chiusi, fissi o scorrevoli, a ripiani forati o pieni), con diversi sistemi di fissaggio dei piani (a bullone, a incastro, a gancio). I maggiori pregi risiedono nella componibilità, nella rapidità di montaggio, nell'adattabilità a ogni spazio anche tortuoso, nella durabilità e nell'avere ripiani facilmente regolabili in altezza e in grado di sostenere, senza subire deformazioni, anche pesi notevoli (come ad esempio oggetti metallici, ceramiche e, nello specifico, scatole contenenti lastre di vetro). Per essere ritenuti idonei alla conservazione delle fotografie, gli arredi metallici devono rispondere ai requisiti dettati dalla normativa, devono essere non combustibili e non corrosivi, perciò privi di sostanze chimiche dannose per i beni, sia provenienti dai trattamenti cui sono sottoposti in fase di produzione, sia sviluppate da reazioni di degrado durante il naturale invecchiamento. I metalli raccomandati sono l'alluminio anodizzato, che si ottiene trattando il materiale con prodotti ossigenati i

quali determinano la formazione sulla superficie di uno strato di ossido sottile e compatto con proprietà isolanti, l'acciaio inossidabile, lega a base di ferro e carbonio con caratteristiche di resistenza alla corrosione e l'acciaio con finiture anti-corrosione.

A meno che non siano in acciaio o in alluminio anodizzato, gli arredi metallici possono essere soggetti a fenomeni di ossidazione e corrosione necessitando pertanto di trattamenti protettivi superficiali di verniciatura. Vernici, lacche e smalti devono essere inerti, non infiammabili e non corrosivi, durevoli e resistenti all'abrasione; per tale motivo sono assolutamente da evitare verniciature applicate a solvente, mentre preferibili sono le finiture elettrostatiche a polvere. Consigliabili i leganti epossidici, i poliesteri, gli acrilici e gli epossidici-poliesteri[5]. Prima della verniciatura con le polveri atossiche e autoestinguenti in epossipoliestere, i migliori processi impiegati oggi sono propedeutici sgrassaggi e fosfatazioni che consentono una valida resistenza alla corrosione e una adesione ottimale delle polveri.

Le finiture, applicate uniformemente a regola d'arte senza bolle o altri difetti di copertura, devono essere preferibilmente di colore chiaro per poter consentire una rapida individuazione, in fase ispettiva, di eventuali anomalie anche derivanti dalla presenza di biodeteriogeni. La vernice funge pure da strato protettivo contro la formazione di condensa sulle superfici metalliche in ambienti particolarmente umidi e freddi[6].

Per funzionalità, capacità, versatilità e adattabilità agli spazi disponibili, gli scaffali rappresentano certamente la tipologia di arredo maggiormente impiegata negli ambienti di conservazione, insieme ad armadi e cassettiere; più raramente e solo in particolari casi sono utilizzati armadi blindati o antincendio e celle frigorifere. Le scaffalature devono possedere diversi requisiti per la sicurezza dei beni e per quella degli operatori deputati alle attività di manipolazione e movimentazione. La ISO 11799:2015[7] provvede a dare specifiche sulle caratteristiche del sito da scegliere, dell'edificio e delle attrezzature necessarie per il suo funzionamento. Precisa appunto che per un locale di deposito risulta importante non eccedere in estensione e altezza e non essere tortuoso in modo da avere una più facile gestione soprattutto dal punto di vista climatico e del monitoraggio. Inoltre deve contenere comodamente gli arredi necessari ed essere dotato di piani d'appoggio sgombri per consentire la scelta e il prelievo dei beni e permettere quindi tutte le operazioni di manipolazione e movimentazione. Importante è accorpare poi tipologie di materiali simili (in modo da guadagnare spazio) considerando le varie specifiche di conservazione. La norma sottolinea inoltre che la capacità di portata dello scaffale deve essere sufficiente a sostenere il peso della documentazione e che le dimensioni siano tali da assicurare ai contenitori ivi collocati una adeguata sistemazione.

Altro punto di riferimento è la norma UNI 10586:1997[8] che fornisce indicazioni sulle caratteristiche degli alloggiamenti.

In generale per le scaffalature, formate da uno o vari moduli, semplici o doppi, i principali requisiti sono:

1. possedere una resistenza meccanica adeguata al carico;
2. prevedere che i ripiani non abbiano particolari costruttivi tali da rendere difficile la movimentazione dei beni o dei contenitori rappresentando un rischio per gli stessi e per gli operatori (bordi e/o spigoli taglienti, sporgenze, viti e/o bulloni);
3. prevedere ripiani regolabili e forati per limitare i fenomeni di condensa (calcolando cinque ripiani circa, da un metro, per ogni scaffale);

4 disporre parallelamente le scaffalature;
5 distanziare le scaffalature di almeno 25 cm dai muri perimetrali, soprattutto quelle esposte a nord (per evitare umidità di risalita e permettere una sufficiente ventilazione);
6 distanziare il primo ripiano della scaffalatura dal pavimento di almeno 15 cm per evitare danni in caso di allagamento[9] e favorire una maggiore igiene unita a una migliore aerazione (in zone soggette ad alluvioni tale distanza dovrebbe essere pari ad almeno 50 cm);
7 distanziare l'ultimo ripiano della scaffalatura dal soffitto di almeno 30 cm (meglio utilizzare scaffali chiusi nella parte superiore per ridurre il deposito di polvere sui contenitori ivi alloggiati);
8 rispettare le misure consigliate (altezza massima 215–220 cm e profondità dei ripiani 35 cm) per facilitare prelievo, igiene e ispezione dei beni;
9 prevedere per la sicurezza un ancoraggio delle scaffalature al soffitto, al pavimento o alle pareti onde scongiurare rischi di cadute e ribaltamenti. Per evitare tali inconvenienti sono preferibili scaffali con spallette laterali.

Gli svantaggi delle scaffalature tradizionali sono da individuarsi nella difficoltà di manipolazione dei materiali collocati nei ripiani più alti o poco accessibili (dove è sconsigliato collocare scatole o raccoglitori particolarmente ingombranti o pesanti) e nella mancanza di protezione dalla penetrazione e deposizione della polvere, in ambienti privi di dispositivi di filtrazione dell'aria. I beni alloggiati devono essere prontamente individuati e quindi buona regola è quella di numerare con etichette le file degli scaffali e le colonne dei palchetti che le compongono.

Per garantire la sicurezza del materiale e degli operatori, tali strutture, se disposte lungo file parallele, devono prevedere "corridoi" di passaggio, larghi almeno 80 cm, e passaggi di circolazione perpendicolari di almeno 120 cm per consentire le varie operazioni di movimentazione dei beni o di altri materiali ingombranti con carrelli e scale. Non ultimo risulta fondamentale prevedere un numero di scaffali commisurato anche all'incremento futuro dei beni depositati così come l'utilizzo di scale a norma (conformi alla UNI EN131/D. Lgs n. 81/2008).

Tra i mobili per archiviazione un'altra importante categoria è rappresentata dai sistemi di contenimento a cassetti, in particolare classificatori e cassettiere "portadisegni", impiegati rispettivamente per l'archiviazione verticale ed orizzontale. I classificatori, del tipo ad appoggio o a sospensione, non sono alloggiamenti ideali per la sistemazione dei materiali fotografici, in particolare per quelli in vetro in quanto, a causa delle sollecitazioni meccaniche prodotte inevitabilmente nelle fasi di scorrimento dei cassetti e durante le manipolazioni necessarie per la ricerca e il prelievo delle opere, possono dar luogo a rotture, deformazioni, strappi ecc. Il limitato assortimento di dimensioni, inoltre, non rende i classificatori sufficientemente funzionali a contenere collezioni fotografiche in genere caratterizzate da una molteplice gamma di formati. Nel caso in cui non ci siano alternative all'archiviazione verticale, si avrà cura di racchiudere gruppi poco numerosi di fotografie, protette da involucri individuali, in cartelle rigide e robuste, intervallate da divisori metallici piuttosto ravvicinati per evitare urti e contraccolpi con possibili danni fisici.

Le cassettiere portadisegni, al contrario, costituiscono un idoneo sistema

di conservazione in piano per fotografie con supporto in carta contenute in buste, scatole o montate su cartoni o in *passe-partout*. Sono particolarmente adatte a contenere in posizione distesa i grandi formati fotografici, facilmente soggetti a deformazioni, incurvature e piegature (in quanto i capaci cassetti forniscono un piano d'appoggio omogeneo e uniforme). Risultano inoltre indicate anche per la conservazione di esemplari unici, quali dagherrotipi, ambrotipi ecc., in quanto offrono un'ulteriore protezione delle superfici all'interno e consentono di minimizzare le manipolazioni in fase di consultazione o controllo. Sono idonee alla conservazione di materiali fotografici le cassettiere in metallo verniciato a polveri epossidiche. Quelle di buona qualità sono quasi sempre provviste di alcuni accorgimenti che rendono più sicuro il loro uso: divisori che impediscono lo spostamento del materiale contenuto, base d'appoggio su zoccolo o su ruote autobloccanti, dispositivo di arresto per evitare la fuoriuscita dei cassetti, sistemi anti-ribaltamento per impedire lo sbilanciamento dovuto all'apertura simultanea di più cassetti, scorrimento su cuscinetti per scongiurare vibrazioni. Anche per le cassettiere si devono tenere in considerazione alcune indicazioni di utilizzo, come la distanza da terra di almeno 15 cm e di 25 cm dai muri perimetrali (per gli stessi motivi sopra indicati).

Il continuo incremento delle collezioni documentarie crea spesso problemi dovuti alla carenza di spazi nei depositi, tanto che in questi ultimi anni si sono affermati sempre più diffusamente sul mercato sistemi di scaffalature mobili scorrevoli cosiddetti *compactus*. Questa tipologia di arredo usata in numerose realtà archivistiche e librarie rispetto ad armadi o scaffalature tradizionali, eliminando i corridoi, consente circa il doppio della capacità di archiviazione. Per la sua installazione, oltre a prevedere dei binari di supporto a livello del pavimento, si deve considerare la portata del solaio, mentre infatti una scaffalatura statica necessita di una portata di 600 Kg/m^2 ca., una scaffalatura mobile richiede almeno una portata doppia; inoltre il pavimento deve essere piano.

I sistemi compattabili, costituti da scaffalature montate su basamenti che servono da piattaforma portante della struttura, incorporano tutti i meccanismi di scorrimento, guida e antiribaltamento. Le basi mobili scorrono su rotaie dotate di dispositivi di fine corsa indispensabili per eliminare dislivelli e per meglio ripartire il peso sul pavimento. Parallelamente alle rotaie di guida sono presenti dei canali dove scorrono sistemi di cuscinetti che assicurano appunto l'antiribaltamento garantendo una assoluta staticità. I pannelli, con profili generalmente in gomma antiurto, e le ante scorrevoli di chiusura consentono di preservare il materiale ivi alloggiato dalla polvere e da accessi indesiderati. Possibile l'applicazione di sistemi di illuminazione autonoma e automatica che permettono di ottenere una corretta distribuzione della luminosità sul solo corridoio aperto per la consultazione. La movimentazione dell'impianto può essere a spinta manuale, con l'azionamento di un volantino, o con un sistema elettromeccanico. Il sistema manuale risulta più semplice dal punto di vista della manutenzione e viene anche minimizzato il pericolo d'incendio collegato all'impianto elettrico; comunque nel caso in cui si preveda una movimentazione automatica, è necessario predisporre sistemi di fermata di emergenza facilmente accessibili e dispositivi di sicurezza indicanti la movimentazione in atto. Il volantino può essere munito infatti di pulsante di blocco della rotazione su ogni base mobile per prevenire chiusure involontarie.

Altro sistema di alloggiamento è quello rappresentato da armadi rotanti

verticali elettromeccanici in cui i ripiani scorrono seguendo la direzione di una guida interna. Tale soluzione consente un'alta intensità di archiviazione e un'ottimizzazione dello spazio disponibile; le operazioni di prelievo/deposito del materiale si effettuano agendo su una pulsantiera o tramite PC e software di controllo e gestione. Durante la movimentazione il vano di accesso, sempre illuminato, viene chiuso da un pannello metallico scorrevole che garantisce la sicurezza dell'operatore.

Purtroppo all'interno di questi sistemi per mancata/scarsa aerazione è possibile che si verifichino fenomeni di condensa e quindi è necessario prevedere un attento controllo delle condizioni termoigrometriche. Infatti si possono sviluppare micro-nicchie particolari anche quando le condizioni ambientali complessive sembrano buone. Studi recenti[10] hanno dimostrato infatti che negli ambienti di conservazione — anche in diversi *case studies* italiani — ove non sia possibile garantire la stabilità delle variabili microclimatiche, i *compactus* si sono rivelati essi stessi causa di biodeterioramento. Di fatto al loro interno viene a crearsi un microambiente caratterizzato da valori di umidità relativa leggermente e costantemente più alti di quelli esterni e da una presenza maggiore di acqua in prossimità del pavimento. Tali anomalie favoriscono lo sviluppo di microfunghi soprattutto a carico dei materiali igroscopici, in zone limitate e localizzate (come ad esempio sul dorso dei libri e sulle rilegature di volumi in cuoio, pergamena e fibre di cotone) e l'accumulo di sostanze volatili emanate dai beni stessi.

Per tale motivo si dovrebbe prendere in considerazione l'utilizzo di modelli forniti di montanti laterali in lamiera perforata e/o di ripiani forati per assicurare una migliore circolazione dell'aria. Inoltre, sempre per favorire il ricircolo dell'aria, sarebbe necessario prevedere uno spazio vuoto minimo di almeno 25–30 cm fra un'unità di scaffalature e l'altra.

Utili per monitorare gli spazi interni di questi arredi, oltre ai datalogger (vedi Capitolo 4), sono gli indicatori di umidità relativa privi di dicloruro di cobalto [in conformità con il Regolamento REACH – Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'Unione europea – sistema integrato di registrazione, valutazione, autorizzazione e registrazione delle sostanze chimiche] con *spot* di lettura indicanti le variazioni di umidità attraverso il viraggio di colore.

Dunque l'adozione di un archivio compattabile potrà trovare realizzazione solo dopo un'attenta valutazione, da parte di esperti del settore, della configurazione del locale (presenza di colonne, tubature, scarichi ecc.) e della capacità della struttura architettonica di sopportare il notevole carico che proviene dalla massiccia concentrazione di scaffalature e materiali; in genere trova possibilità di applicazione, specie in edifici preesistenti, solo se preceduta da interventi tecnici strutturali e impiantistici. Nel tempo, questo tipo di scaffalatura può presentare alcuni inconvenienti come ad esempio l'insorgere di difficoltà di scorrimento dovute alla deformazione delle ruote o delle guide a causa del peso sopportato. Di conseguenza i materiali collocati al loro interno, in particolare quelli fragili, scorrendo solidalmente alla struttura, possono essere danneggiati dalle vibrazioni e/o dai sobbalzi con le prevedibili conseguenze.

Gli armadi, rispetto agli scaffali, offrono una migliore protezione dalla polvere e dal particolato atmosferico ma, trattandosi di contenitori chiusi, presentano i possibili inconvenienti dovuti alla creazione di microclimi indesiderati al loro interno come nel caso dei *compactus*. Un deposito risulta ben ventilato nel momento in cui dispone di filtri *ad hoc* e di bocchette di

aerazione per favorire la circolazione interna dell'aria. Quanto agli armadi sigillati, impiegati in particolari casi per proteggere da furti (casseforti, armadi blindati) o da incendi (armadi antifiamma) materiali particolarmente preziosi, rari o infiammabili (pellicole in nitrato), è altamente probabile che al loro interno si crei rispettivamente un aumento di umidità relativa o un accumulo di esalazioni nocive. Il primo problema potrà essere positivamente risolto inserendo nell'armadio, per sua natura ermetico, quantità adeguate di stabilizzatori passivi di umidità relativa; per quanto riguarda il secondo problema, in mancanza di un sistema di filtrazione/aspirazione e convogliamento dei vapori all'esterno, si consiglia l'uso di sostanze adsorbenti come carbone attivo o setacci molecolari da sostituire periodicamente al fine di evitare che diventino inefficaci per raggiunta saturazione. Naturalmente i materiali conservati in questa tipologia di armadi non dovranno essere inseriti in contenitori sigillati o impermeabili[11].

Per quanto attiene ai materiali costitutivi, anche nel caso degli armadi sono da preferirsi quelli metallici, scegliendo, secondo la convenienza e le necessità, le dimensioni più adatte e tra i vari sistemi di chiusura: ante a battente o scorrevoli, di tipo pieno, ad alette, a grata, in vetro temperato ecc. Le ultime due tipologie, pur consentendo un immediato riconoscimento del contenuto, presentano rispettivamente lo svantaggio di non proteggere dalla polvere (quelli a grata) e di lasciar penetrare la luce (quelli con ante di vetro), quindi si dovrà evitare di utilizzarli in luoghi di passaggio, in zone molto illuminate, nelle vicinanze di finestre, in sale di consultazione ecc. In genere è sconsigliabile l'uso di modelli con porte scorrevoli in quanto rischiano di provocare danni a contenitori sporgenti e possono inoltre essere soggetti all'inceppamento dell'anta. Scaffali e armadi rappresentano alloggiamenti adatti a contenere la maggior parte delle fotografie storiche, previamente inserite in involucri singoli, protette da idonei contenitori, raccolte in album o supportate da montaggi e *passe-partout*: l'importante è che questi documenti siano ben riparati da luce, inquinanti atmosferici e che siano correttamente posizionati.

Per conservare a lungo termine pellicole al nitrato, acetati e fotografie a colori è consigliato l'uso di frigoriferi, congelatori e camere fredde, con gli accorgimenti necessari a contenere i caratteristici elevati valori di umidità relativa. Tale tematica sarà affrontata nella parte relativa alla conservazione con basse temperature (vedi Capitolo 12).

In linea generale quindi l'utilizzo di scaffalature si può considerare preferibile a quello di arredi chiusi perché in grado di permettere una adeguata ventilazione al fine di prevenire possibili fenomeni di condensa.

11.2 Involucri e contenitori: i materiali

Un aspetto fondamentale della prevenzione è rappresentato dalla scelta opportuna dei contenitori a stretto contatto con i beni. Se non convenientemente selezionati, non solo non assolvono alla loro principale funzione di protezione ma possono divenire causa, innescante o aggravante, di alterazioni superficiali e di degradazione chimica/fisica di supporti, strati immagine ecc.

Buste, cartelle, scatole, da scegliere tra una vasta gamma di modelli e materiali diversi per tipologia, formato e qualità, dovranno essere commisurate alla consistenza, alla composizione e allo stato di conservazione delle immagini da archiviare. Sarà pertanto essenziale, ai fini della buona riuscita di un progetto di revisione o risistemazione delle collezioni, procedere alla

ricognizione e identificazione dei procedimenti fotografici, alla quantificazione dei formati per tipologia, alla valutazione della condizione conservativa di ogni singolo bene, all'esame dell'assetto archivistico che, nell'operazione di riordinamento, è buona regola rispettare[12] nei limiti della pratica della corretta conservazione.

Materiali per l'archiviazione: carta Dagli anni Ottanta del secolo scorso si sono intensificati gli studi sui materiali adatti all'archiviazione delle fotografie. Alcuni di essi in passato ritenuti idonei alla conservazione si sono rivelati, invece, incompatibili con questi beni. Basti citare le buste in carta semitrasparente, di tipo *pergamin*, una carta grassa dalla superficie cerosa, surrogato della pergamena, fortemente calandrata (molto liscia, lucida e trasparente, impregnata di sostanze quali colofonia e grassi). Questa carta fabbricata a partire da un impasto composto essenzialmente da una cellulosa speciale al solfito (*extrafest*), detta cellulosa per *pergamin*, raggiunge rapidamente un elevato grado di raffinazione. Dura, compatta, ha una densità apparente molto elevata, ma è fragile e vitrea; sebbene le resistenze alla trazione, allo scoppio e alla piegatura siano abbastanza alte, la resistenza alla lacerazione è limitata[13]. Invecchiando diventa fragile e ingiallisce e le sostanze di cui è impregnata sviluppano prodotti acidi e ossidanti in grado di danneggiare seriamente le immagini poste a diretto contatto, provocando sbiadimenti e perdita di definizione; inoltre la scarsa permeabilità determina il crearsi di ristagni di umidità che, a loro volta, favoriscono l'adesione del collante superficiale allo strato immagine deturpandolo (figg. 11.1–11.4).

Per tali motivi con la norma ISO 18902 del 2013[14] ne è stato bandito l'uso per scopi archivistici. Non è raro imbattersi in archivi in cui molte lastre fotografiche sono ancora accuratamente conservate nelle scatole originali di vendita, al fine di mantenere la memoria storica della loro provenienza. Questi cartoni di scadente qualità, che si ottengono dalla sfibratura del legno precedentemente privato della corteccia, sono caratterizzati da una polpa molto impura e dalla presenza di sostanze insolubili comprese quelle incrostanti che, liberando acidi e ossidanti, possono danneggiare i documenti a contatto causando tra l'altro ingiallimenti e sbiadimenti[15] (figg. 11.5–11.11).

Lo standard ISO 18902 (destinato a pellicole, lastre, stampe bianco e nero e a colori tradizionali ai sali d'argento, stampe digitali a getto d'inchiostro a base di coloranti e pigmenti, elettrofotografiche a toner liquido e a secco, termiche a diffusione di coloranti – *dye sublimation*), spe-



Fig. 11.1

Velina di protezione di stampa alla gelatina degli anni Quaranta



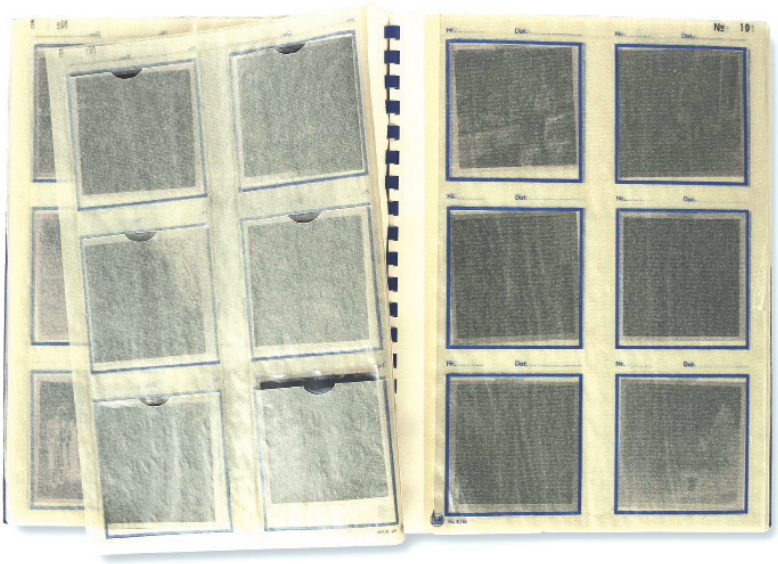


Fig. 11.2

Involucri in carta tipo *pergamin*, primi Novecento (in alto)

Fig. 11.3

Album porta negativi in carta tipo *pergamin*, anni Cinquanta (al centro)

Fig. 11.4

Involucri in carta tipo *pergamin* per pellicole, anni Cinquanta (in basso)



cifica i requisiti per carta e cartone, materie plastiche, metalli, adesivi, nastri, materiali per etichette autoadesive ecc., ai fini conservativi.

Per quanto concerne il legno, impiegato nel passato come contenitore di materiali fotografici prevalentemente su vetro (negativi, positivi, stereoscopie, diapositive) (fig. 11.12), valgono le considerazioni precedentemente esposte. Il contatto diretto rende ancor più probabili e stringenti i rischi di deterioramento biologico e chimico, tuttavia nei casi non rari in cui il contenitore ligneo sia parte integrante della raccolta e la sua rimozione rappresenti una grave perdita per il valore storico e documentario, si suggerisce di rivestire le pareti interne di scatole e cassetti lignei con cartone o tessuto contenenti carbone attivo che possa adsorbire le eventuali emissioni dannose provenienti dal legno[16].

Una indagine di Burge *et al.* (2002)[17], relativa agli effetti di carte e cartoni contenenti lignina sulla stabilità delle immagini fotografiche ha evidenziato che,







Fig. 11.5

Contenitore in cartone per lastre di vetro degli anni Venti (in alto a sn)

Fig. 11.6

Contenitore in cartone per *carte de visite* del 1890 ca. (in alto a dx)

Fig. 11.7

Busta di carta porta fotografie degli anni Venti (a lato)

quando il contatto è diretto, l'interazione sotto forma di macchie sia sulla gelatina sia sull'immagine argentica, cresce con l'aumento di questo polimero. Tale effetto viene mitigato dall'inclusione di carbonato di calcio come riserva alcalina nella carta. Per le scatole di cartone o legno che circondano ma non sono a diretto contatto con le fotografie, gli effetti risultano leggermente attenuati dall'intercapedine tra pareti interne e immagini. È stato inoltre osservato che anche altri componenti del legno, chiamati collettivamente estrattivi, reagiscono con l'immagine argentica e contribuiscono alla sua degradazione. Queste sostanze devono essere allontanate insieme alla lignina durante i processi di delignificazione.



Fig. 11.8

Busta di carta porta *carte de visite* del 1897 (in alto)



Fig. 11.9

Raccoglitore porta negativi in carta degli anni Sessanta (al centro a sn)

Fig. 11.10

Busta di carta porta pellicole degli anni Cinquanta (al centro a dx)



Fig. 11.11

Busta di carta porta pellicole degli anni Quaranta (in basso)



Fig. 11.12

Scatole in legno per lastre di vetro stereoscopiche degli anni Venti

Per le fotografie da archiviare, al fine di proteggerle dalla movimentazione e manipolazione, dalla polvere e dalle abrasioni, è disponibile una vasta scelta di modelli di involucri, diversi per tipologia, formato e qualità. Vi sono buste chiuse semplicemente su un lato o su due, in cui un lato è chiuso sfruttando la piegatura del foglio mentre l'altro è incollato o saldato con ultrasuoni. La busta chiusa su tre lati (figg. 11.13 e 11.14) ad esempio non è consigliabile se il documento deve essere preso in visione frequentemente in quanto per l'estrazione è necessario operare una leggera deformazione. La busta a quattro falde, ideata per la conservazione delle lastre in vetro e realizzata in modo che i quattro lembi possano essere sovrapposti per contenere il negativo, non presenta alcun tipo di colla o adesivo essendo infatti ricavata da un foglio di carta singolo; può essere naturalmente utilizzata anche per altre tipologie di materiali (fig. 11.15). Vi sono poi buste singole o a compartimenti (in carta, fig. 11.16, o in carta tipo pergamino – *glassine*, fig. 11.17, o in plastica) con perforazioni laterali e buste predisposte per essere sospese.

I requisiti della carta permanente destinata all'archiviazione dei documenti sono stati definiti nel 1994 dalla norma ISO 9706[18] che ha introdotto i concetti di permanenza (capacità di rimanere chimicamente e fisicamente stabile per lunghi periodi di tempo) e di durabilità (capacità di resistere alle sollecitazioni in condizioni di uso). La norma fissa inoltre gli standard minimi in termini di riserva alcalina (2%), resistenza agli strappi (350 mN), resistenza all'ossidazione (n° di kappa ≤ 5,0 – caratteristica che implicitamente limita la quantità di lignina e di altri componenti facilmente ossidabili).

La successiva norma ISO 11108 del 1996[19] differenzia la carta permanente da quella d'archivio, per la quale sono previsti criteri più restrittivi in relazione alla resistenza meccanica e alla composizione (ricavata da cotone, cascami di cotone, canapa o lino, può contenere una minore frazione di polpa completa-

mente sbiancata). Le carte di pasta meccanica o pasta legno, non purificate, contengono tutta la lignina presente nella materia prima; per effetto della luce, del calore e dell'invecchiamento naturale esse si alterano liberando sostanze acide e ossidanti (perossidi) in grado di danneggiare i documenti.

I requisiti di carte e cartoni idonei per la conservazione a diretto contatto con i materiali fotografici (archiviazione a lungo termine), sono regolati dalla ISO 18902:2013, dapprima citata. Di seguito vengono indicati nello specifico i requisiti di idoneità fondamentali per carte/cartoni:

- *lignin-free*, assenti cioè da lignina o meglio da fibre altamente lignificate (con n° di kappa uguale a 7,0 o meno) e quindi con un alto contenuto di α-cellulosa (cellulosa a fibra lunga – ad alto grado di polimerizzazione e ad alta cristallinità);
- *acid-free*, assenti cioè da acidità utilizzando i metodi[20]: TAPPI T509 e ASTM D1193 – 06 come indicato nella norma ISO citata;
- con riserva alcalina di carbonato di calcio – $CaCO_3$, almeno del 2% (secondo il test desunto dalla ISO 10716:1994[21]). Questa sostanza basica è in grado di neutralizzare gli acidi. Gli involucri che nel tempo diventano fortemente acidi andranno sostituiti per gli effetti negativi sulla stabilità dei coloranti;
- soddisfacimento dei requisiti del PAT – *Photography Activity Test* indicato dalla norma ISO 18916:2007[22];
- assenza di coloranti e pigmenti suscettibili di migrare dopo immersione di 24 h in acqua distillata;
- uso eventuale di adesivi di natura neutra o alcalina.

Fig. 11.13

Carte de visite in busta a ribalta (a sn)

Fig. 11.14

Stampa alla gelatina colorita a mano in busta chiusa su tre lati (a dx)







Fig. 11.15

Stampa all'albumina in busta a quattro falde con due ante ridotte che consentono la visione del materiale conservato

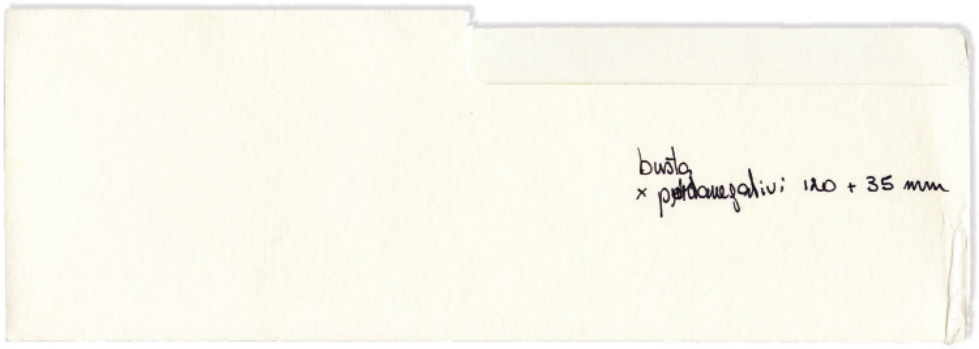


Fig. 11.16

Busta portanegativi 35 mm

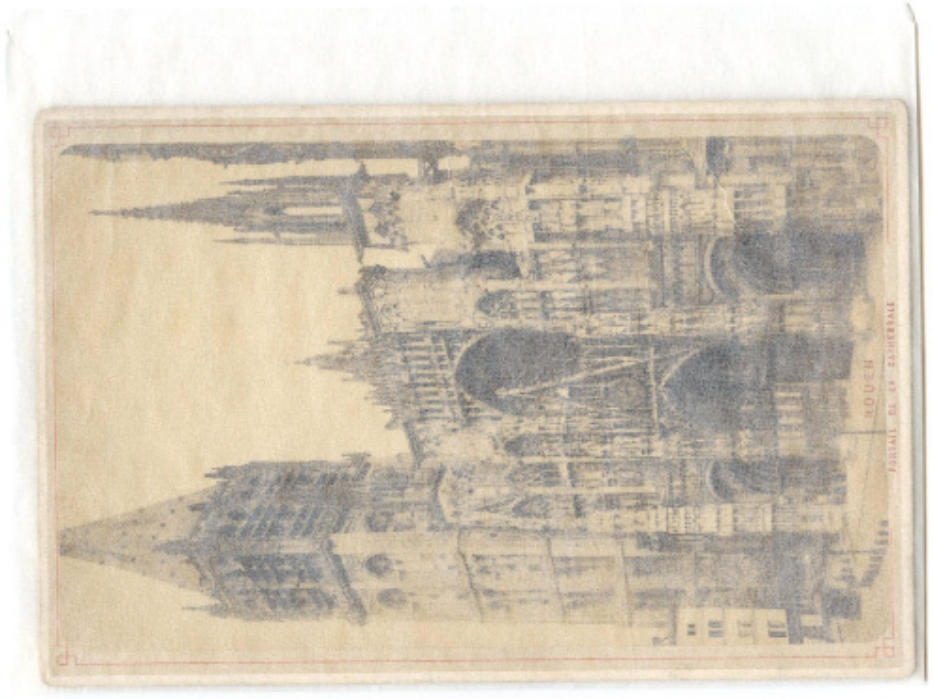


Fig. 11.17

Stampa all'albumina in busta con apertura da un lato in pergamino testato PAT

Sebbene l'aggiunta di sostanze collanti ai materiali cellulosici non sia preferibile, è tollerata una minima presenza di adesivi neutri a base di derivati della cellulosa (eteri di cellulosa), ma non di allume, colofonia, gelatina.

Nel caso in cui non siano disponibili carte di questo tipo è possibile usare carte di alta qualità come quelle per arti grafiche (es. la carta Whatman®, carta di pura cellulosa).

Materiali per l'archiviazione: plastica L'industria delle materie plastiche produce una gran varietà di materiali diversi per stato fisico, proprietà meccaniche e composizione chimica al fine di realizzare prodotti mirati alle più diverse esigenze d'uso.

In chimica, le plastiche sono macromolecole costituite da molecole singole (monomeri) unite insieme a formare lunghe catene semplici o ramificate (polimeri). Nella formulazione dei polimeri vengono aggiunti specifici additivi (cariche) per migliorare le prestazioni in funzione delle applicazioni cui sono principalmente destinati oppure per proteggerli dall'ossidazione (stabilizzanti) o ancora per renderli più flessibili (plastificanti) o per conferire loro varie colorazioni (coloranti). La criticità nell'uso delle plastiche in ambito conservativo dei materiali fotografici risiede sia nella composizione chimica di base sia nel contenuto di additivi. Mentre la composizione è generalmente abbastanza nota e consente di selezionare il materiale più appropriato, conveniente e compatibile, il contenuto di additivi non sempre viene esplicitato.

Molte plastiche, a lungo usate nei decenni scorsi, come ribadisce Lavédrine (2003), costituiscono un grave problema per la stabilità delle fotografie. Tra queste vi sono i prodotti nitrati come la celluloide che si decompone con sviluppo di gas e i prodotti clorurati come il cloruro di polivinile – PVC che, invecchiando, tende a irrigidirsi e a ingiallire fino a decomporsi, liberando acido cloridrico; i plastificanti contenuti possono migrare e depositarsi sulle immagini sotto forma di minuscole gocce. Il PVC, utilizzato soprattutto per la conservazione di diapositive o negativi, tende a rilasciare vapori acidi e ad aderire all'emulsione fotografica determinando tipiche macchie lucide e possibili distacchi. Instabili risultano anche gli acetati di cellulosa per la sindrome dell'aceto e le plastiche opacizzate. Sono quindi da evitare anche buste, scatole, astucci in polivinilacetato (PVA) e in nitrato di cellulosa o celluloide (CN): col tempo diventano rigidi, fragili e ingialliscono liberando sostanze dannose (acidi, gas ossidanti), i contenitori in nitrato sono anche infiammabili.

Le plastiche devono quindi essere:

- chimicamente stabili, con un elevato punto di fusione e inerti;
- esenti da plastificanti, sostanze clorurate, sostanze nitrificate e da solventi residui;
- resistenti alla piegatura, alla trazione e allo sgualcimento;
- sufficientemente traslucide.

Tra i tanti polimeri sintetici prodotti dall'industria pochi sono quelli consigliati per l'archiviazione a lungo termine dei materiali fotografici (ISO 18902:2013):

- poliestere (tereftalato di polietilene – PET), stabile chimicamente, trasparente e leggermente elettrostatico (tra le denominazioni commerciali di questo materiale si ricorda: Melinex®, Mylar® – DuPont™ de Nemours, Terphane® – Rhone-Poulenc ecc.) (figg. 11.18 e 11.19). Risulta però di elevato costo;
- polietilene (ad alta densità – HDPE), flessibile, stabile chimicamente, termoresistente, meno trasparente e stabile del poliestere (fig. 11.20);

- polipropilene (PP), nasce dalle scoperte del premio Nobel Natta (1956) e si ottiene dalla polimerizzazione del propilene gas. È un materiale rigido e stabile, con elevato carico di rottura, buona resistenza termica, buona resistenza all'abrasione, più rigido e lucido del polietilene e con una carica elettrostatica inferiore al poliestere;
- polistirene (PS), può essere utilizzato, a condizione però che non abbia ricevuto trattamenti antistatici;
- alcune poliolefine (*spun-bonded*) chimicamente inerti, non plasticizzate, con una buona stabilità chimica.

Polipropilene e polistirene, in virtù della loro maggiore rigidità, sono impiegati soprattutto ai fini della manifattura di contenitori rigidi per l'archiviazione di alcune tipologie di materiali fotografici;

Da ricordare infine il Tyvek®, Commercializzato dalla DuPont™ de Nemours. Si tratta di un non tessuto in polietilene, opaco, somigliante alla carta ma più resistente e, rispetto alle plastiche, non permette la formazione di condensa; può essere utilizzato per conservare stampe e lastre di vetro.

11.3 Tipologie di involucri e contenitori: guida alla scelta

Alla luce di quanto finora esposto è evidente che, per classificare come idonei alla conservazione a lungo termine i materiali d'archiviazione e protezione posti a diretto contatto (buste, strati d'interfogliazione, cartoni di supporto, montaggi e *passe-partout*), o nelle immediate vicinanze delle immagini fotografiche (scatole, cartelle, raccoglitori, copertine, cassette), essi devono rispondere a requisiti specifici: composizione chimica ben nota, assenza di sostanze dannose anche solo potenzialmente (inchiostri, coloranti, particelle metalliche, colle, plastificanti, acidi ecc.), stabilità, durabilità, inerzia nei confronti delle immagini. Una valutazione di tipo analitico incontra grandi difficoltà, non solo per l'innumerevole tipologia di prodotti proposti dall'industria, ma anche perché molto spesso alcuni componenti o lavorazioni non vengono divulgati in quanto coperti da segreto industriale o brevetto.

Valutazione della protezione dei contenitori Le sole buste non sono sufficienti per la conservazione, proteggono validamente le superfici ma, essendo flessibili, non forniscono la robustezza né il rinforzo necessari a sostenere e salvaguardare materiali fragili come le immagini su vetro o i procedimenti unici e quelli facilmente deformabili come le pellicole e le stampe. Scatole, cartelle, raccoglitori in materiale rigido esplicano un'ulteriore protezione mirata principalmente a supportare le opere, sia in gruppi sia singolarmente, ad agevolare la movimentazione in sicurezza nonché a facilitarne la ricerca e la consultazione. Si trovano in commercio contenitori resistenti e rigidi, prodotti con materiali permanenti e conformi agli specifici PAT, di ogni forma, modello e dimensione, con coperchi staccati o incorporati, con finestre trasparenti (a volume unico o a comparti), con o senza rivestimenti esterni in tela o carta, di dimensioni e volumi adeguati a contenere pellicole, rullini, stampe e lastre di ogni formato, diapositive e pellicole cinematografiche, negativi singoli e in strisce. Esistono inoltre cartelle, raccoglitori, con e senza anelli, per contenere le fotografie inserite in buste di plastica perforate o sospese. Alcuni modelli di scatole si possono montare all'occorrenza così da non occupare eccessivo spazio di stoccaggio. Molte tipologie di custodie e scatole sono prodotte, inoltre, senza adesivi proprio per ottemperare alle

Fig. 11.18

Stampe all'albumina in busta di poliestere predisposta per inserimento in raccoglitore (a lato)

Fig. 11.19

Stampa alla gelatina in busta di poliestere (superiore in basso)

Fig. 11.20

Stampa alla gelatina in busta di polietilene (in basso)







indicazioni conservative specifiche per le immagini fotografiche.

È quanto mai opportuno sottolineare che buste e scatole in attesa di utilizzo vanno idoneamente e correttamente conservate, non devono quindi essere piegate, lacerate, strappate, accartocciate, né macchiate o esposte all'umidità. I materiali fotografici inseriti nelle buste e nelle scatole troveranno alloggio su scaffali, in armadi o cassettiere metalliche per una collocazione definitiva, sicura e protetta.

I test per verificare i requisiti di idoneità dei materiali destinati alla conservazione delle fotografie (carta, cartoni, scatole, involucri in carta e plastica) sono regolati dalla ISO 18916:2007 la quale valuta le possibili interazioni chimiche con l'immagine, specificando altresì che la superficie degli involucri non deve provocare graffi e abrasioni all'immagine stessa. Il citato test di attività fotografica (PAT) è stato sviluppato dall'IPI – Image Permanence Institute – Rochester Institute of Technology[23] di New York. Lo stan-

dard esplora le interazioni tra le fotografie e i materiali per la loro conservazione (carta, cartone, cartoncino, tessuto, plastica, adesivi inchiostri, vernici ecc.). I materiali vengono testati annualmente o su ogni formulazione o modifica del fornitore. Il PAT specifica le procedure per i test da effettuare su campioni destinati all'archiviazione fotografica, test che valutano le possibilità di interazione a lungo termine tra gli involucri e i vari procedimenti fotografici o fotomeccanici: indica dunque se un materiale provoca reazioni chimiche che arrecano danni all'immagine fotografica. Risulta, infatti, in grado di rilevare le reazioni di ossidazione e riduzione che possono causare la dissolvenza dell'immagine, lo specchio d'argento e le macchie rosse o dorate (*red/gold spots*) e l'ingiallimento del supporto.

Anche le finiture devono soddisfare il test, come del resto tutti i materiali che entrano in contatto con le fotografie. Lo standard (*Black & White* PAT) è rivolto a immagini argento-gelatina, stampe cromogeniche, a getto di inchiostro a base di coloranti e pigmenti, *dye-diffusion transfer*, xerografiche (toner liquido o a secco), elettrofotografiche (toner liquido o a secco) e diazo. Aggiuntivo è il color PAT (*Dye Coupler Reactivity Test*), test che valuta possibili reazioni di colorazione prodotte tra custodie e accoppiatori di colorante presenti nelle fotografie cromogeniche.

Le plastiche, materiali trasparenti, consentono una facile consultazione permettendo una immediata identificazione del documento, essendo però elettrostatiche attirano il particolato che rappresenta uno dei principali veicolanti di inquinanti biologici e chimici; poco permeabili non permettono inoltre scambi con l'esterno per cui sussiste il rischio della formazione di condensa. All'interno degli involucri di plastica quindi vi è la possibilità che si crei un microambiente insidioso il quale, intrappolando umidità in eccesso, può favorire l'adesione della plastica stessa alla superficie dell'immagine o creare le condizioni per lo sviluppo e la proliferazione di microrganismi (UR>65% e T>20°C). Inoltre, impedendo la fuoriuscita di gas e vapori acidi e corrosivi esalati da materiali in fase di decomposizione (nitrati e acetati), può accelerarne la velocità di degradazione. Un vantaggio rispetto alle buste in carta è che la fabbricazione di questi involucri può avvenire senza l'uso di colle, le giunture infatti possono essere saldate con diversi sistemi.

La peculiarità della plastica è la trasparenza, gli involucri in carta offrono però una maggiore sicurezza in quanto consentono una buona circolazione dell'aria al loro interno, ed essendo igroscopici, esplicano un'azione stabilizzante sulle fluttuazioni di umidità relativa; proteggono inoltre dalla luce anche se la carta è più soggetta a deterioramento biologico rispetto alle materie plastiche.

La carta, porosa, permette quindi scambi con l'esterno ma può assorbire anche umidità e gas nocivi. La non trasparenza di questo materiale può, in certi casi, costituire uno svantaggio in quanto non consente una facile ispezione, comunque rappresenta quello maggiormente raccomandato purché vengano rispettati i requisiti dettati dalle norme (sempre preferibile l'utilizzo di buste con i lembi ripiegati e quindi senza adesivi). Gli involucri di carta sono da preferire a quelli in poliestere anche quando i parametri termoigrometrici non sono stabili; nel caso di opere frequentemente consultate, per le quali ad ogni buon conto si consiglia vivamente la riproduzione o la digitalizzazione, si privilegerà l'adozione di involucri e contenitori durevoli e resistenti all'usura tali da garantire protezione adeguata e, al contempo, un utilizzo intenso e duraturo minimizzando la manipolazione degli originali (buste a quattro falde o trasparenti, cartelline, montaggi con o senza *passe-*

partout).

In ogni caso, in assenza di condizioni ambientali adeguate (microclima, luce, ventilazione, igiene ecc.), anche i materiali di migliore qualità e conformi a normative e PAT non possono da soli assicurare la conservazione a lungo termine del materiale fotografico. Si raccomanda inoltre, prima di inserire gli originali nei contenitori per l'archiviazione, di effettuare un'accurata depolveratura per eliminare la maggior parte delle eventuali spore depositate sulle superfici e allontanare i depositi di particolato causa di danni fisici (graffi, abrasioni) e chimici (zolfo e altri inquinanti atmosferici). L'operazione, da affidare a un esperto restauratore, va eseguita sul *verso* e sul *recto* dell'opera con pennelli a setole morbide e, se necessario, con l'ausilio di microaspiratori. Naturalmente le emulsioni non devono essere poste a contatto fra di loro.

Altri materiali da considerare sono gli adesivi che devono essere privi di impurità (come zolfo, ferro, rame), di quantità alte di plastificanti e di solventi inoltre senza prodotti con legame etere e saldati a caldo e a pressione[24]. Risulta importante prestare attenzione anche agli inchiostri da stampa che non devono essere presenti all'interno dell'involucro unitamente alla fotografia e non devono trasferirsi su carta bianca a contatto.

Creare microambienti in atmosfera controllata rappresenta una ulteriore possibilità per assicurare migliori condizioni conservative.

Come si è visto la principale funzione di involucri individuali, cartelle, scatole e raccoglitori è quella di proteggere le immagini dalla manipolazione, dalla polvere, dalle abrasioni, dagli urti e di creare una difesa dalla penetrazione di inquinanti atmosferici, sia biologici sia chimici[25]. Le buste per la conservazione, destinate al contatto diretto con i vari materiali fotografici, rappresentano quindi il primo livello di protezione e operare la giusta scelta costituisce una fase determinante nell'intera dinamica della prevenzione. La valutazione del contenitore più adeguato e la modalità di condizionamento dipendono dalla tipologia di materiale da conservare (natura dei costituenti), dal suo stato di conservazione, dalla presenza di supporti secondari, cornici, montaggi e da fattori quali le condizioni ambientali e le attività correlate (manipolazione e movimentazione) alla frequenza di consultazione.

In genere la sistemazione ideale consiste nell'inserimento delle fotografie in buste individuali sistemate poi in conte-



Fig. 11.21

Verso di montaggio di ambrotipo francese della metà dell'Ottocento



Figg. 11.22, 11.23

Recto e *verso* di montaggio contemporaneo di dagherrotipo del 1857

nitori più rigidi di metallo, cartone o polipropilene ad elevata grammatura (500–800 g/m²). Buste e scatole devono essere sempre della giusta misura, se troppo grandi il contenuto potrebbe spostarsi e subire danni meccanici, se troppo piccole si potrebbero determinare deformazioni, rotture o pieghe.

Modalità di condizionamento Per dagherrotipi, ambrotipi e ferrotipi o per materiali che sono montati in cornici e astucci originali (fig. 11.21) è consigliabile una conservazione orizzontale in custodie di cartone all'interno di cassettiere che offrono un'ulteriore protezione permettendo di minimizzare le manipolazioni in fase di prelievi per consultazione o controllo.

La normativa per queste lastre è la ISO 18918:2000 che indica come riferimento, in merito a involucri e contenitori vari, la ISO 18902 già introdotta nel paragrafo precedente.

Conservare un dagherrotipo richiede una attenzione particolare per via dei vari componenti della montatura e per tale motivo è importante garantire un isolamento adeguato dagli ossidanti atmosferici e utilizzare carte neutre con un contenuto di α-cellulosa >87% (naturalmente testata PAT). Sono stati studiati diversi montaggi, alcuni prevedono la protezione dei metalli dalla corrosione derivante dagli agenti atmosferici mediante sistemi in polietilene e particelle di rame (il Corrosion Intercept® trattato nel paragrafo successivo); in pratica viene costituita una barriera tra metallo e agenti deteriogeni.

Questi oggetti fotografici possono essere disposti in diversi tipi di montaggio. Possono infatti essere previsti degli alloggiamenti cosiddetti primari per lastre prive di custodia o realizzati alloggiamenti aggiuntivi al primario oppure contenitori che forniscono protezione ai sistemi secondari. In effetti numerosi prototipi sono stati brevettati nel tempo.



Fig. 11.24

Verso di *montage évidé* contemporaneo creato per un cianotipo dei primi anni del Novecento



Fig. 11.25

Particolare del cianotipo montato a vista con evidente il taglio della finestra eseguito a misura

In figura 11.22 e 11.23 viene mostrato un semplice montaggio contemporaneo di un dagherrotipo. L'immagine è stata inserita dietro una finestra successivamente rimontata con l'aggiunta di idonei separatori in carta di pura cellulosa (posti tra lastra fotografica e vetro di protezione). In questo tipo di alloggiamento il separatore ha il duplice scopo di bloccare la lastra all'interno dell'assemblaggio e di proteggerne lo strato sensibile. Si può usare poi per la sigillatura nastro conservativo in carta e adesivo acrilico del tipo Neschen Filmoplast P90® o nastro in carta accoppiata con alluminio 3M®.

Per i positivi su carta il modello di involucro si deve scegliere in base alla tipologia di archiviazione che si vuole adottare. I criteri per la conservazione dei vari tipi di stampe sono dettati dalla ISO 18920:2011[26], che fornisce anche raccomandazioni sulle procedure di ispezione e precauzioni d'uso. Lo standard è rivolto a stampe con supporto cartaceo monocrome o a colori: *fiber based*, RC (rivestite in resina), in plastica pigmentata o in poliestere, acetato di cellulosa e anche in tessuto (es. tela, lino). Sono comprese altresì le stampe digitali elettrofotografiche, a trasferimento termico, a getto di inchiostro e quelle a sublimazione di colorante.

In generale le stampe di formato indicativamente inferiore a 28×36 cm, come suggerisce la norma, possono essere alloggiate verticalmente mentre per formati superiori è bene predisporre montaggi o supporti rigidi (oppure confezionare contenitori su misura) e l'archiviazione deve essere di preferenza orizzontale. La stessa modalità è consigliabile anche per stampe di medio formato soprattutto se prive di supporto secondario. Una volta imbustate, le stampe che devono essere conservate orizzontalmente, potranno essere collocate in gruppi non troppo consistenti (max 30-40) in scatole per archiviazione orizzontale di altezza max 4-5 cm e sistemate in armadi, cassettiere o scaffali; la leggera pressione creata dalla sovrapposizione aiuterà a mantenere la planarità degli esemplari. L'archiviazione verticale in buste e

cartelle sospese comporta sempre qualche rischio di deformazione, ma può rappresentare l'unica soluzione in caso di spazi insufficienti.

Gli involucri singoli in carta (grammatura almeno 120 g/m^2) sono ideali per le stampe cartacee offrendo buon sostegno e protezione (conveniente l'adozione di buste aperte su due o tre lati); molta attenzione si deve prestare a non forzare l'estrazione del documento. In caso invece si dovesse adottare, per problemi di spazio o per facilitare frequenti consultazioni, una archiviazione di tipo verticale, sarebbe opportuno prevedere buste o cartelle chiuse su più lati di grammatura elevata (120–140 g/m^2) onde limitare possibili deformazioni ai materiali conservati e porre dei divisori a ulteriore protezione all'interno del contenitore.

Per le stampe all'albumina e per le stampe a colori cromogene, il cui sbiadimento è a carico del colorante ciano, è consigliabile un alloggiamento in ambiente a pH neutro all'interno di buste in carta priva di riserva alcalina.

Anche per le cianotipie, procedimenti non argentici che utilizzano il sale ferrico (es. citrato ferrico ammoniacale) in soluzione miscelato con ferricianuro di potassio come elemento fotosensibile, si devono evitare contatti con sostanze basiche per cui si consigliano carte con pH intorno a 6–7[27]. Sarebbe importante una conservazione in involucri di carta neutra sempre con contenuto di α-cellulosa >87%, oppure con i lati in carta neutra/polietilene o poliestere (il lato in polietilene o poliestere consente la visione del materiale) al fine di evitare possibili sbiadimenti[28] come ad esempio avviene in ambiente alcalino per il blu di Prussia. Per le stampe al platino (che utilizzano il sale ferrico in soluzione miscelato con cloruro doppio di platino e potassio) e al palladio, materiali molto stabili, si raccomanda invece l'utilizzo di buste di carta con riserva alcalina e si sconsiglia l'uso del poliestere. Carte con riserva alcalina e materiali plastici sono sconsigliati anche per stampe a colori ritoccate o colorite manualmente. Per le stampe al carbone prive di supporto secondario, che tendono ad arrotolarsi, sono raccomandabili involucri in materiali plastici con la funzione di mantenerle distese.

Per stampe di minimo spessore può essere utilizzabile il *montage évidé*, caratterizzato dai bordi a vista del supporto secondario sovrapposti alla stampa fotografica. Tale metodo permette una buona conservazione e manipolazione dell'immagine (figg. 11.24 e 11.25). La stampa viene inserita dietro una finestra della dimensione di poco inferiore alla fotografia stessa (praticata in un cartoncino più o meno pesante) e poi bloccata lungo i bordi con striscette (brachette) di carta adesiva.

Riguardo i montaggi delle stampe, si consigliano ancoraggi indiretti utilizzando angoli o bande autoadesive totalmente removibili in poliestere o in polipropilene (testati PAT), da apporre in testa e in piede, o l'utilizzo di adesivi conservativi e removibili. In generale è importante adattare il montaggio al procedimento, allo stato di conservazione dell'opera (qualità dei materiali e messa in opera) e all'uso: se si deve archiviare, consultare o esporre (temporaneamente o permanentemente). Importante inoltre è la reversibilità del montaggio.

In merito alle stampe digitali (stampe termiche, elettrofotografiche e a getto d'inchiostro[29]), che negli ultimi venti anni hanno avuto una grande diffusione, per la conservazione sono consigliabili le stesse tipologie di involucri in carta o plastica previste per le stampe argentiche, come indicato dalla ISO 18920:2011. In generale risulta particolarmente importante per questi materiali evitare di essere conservati a stretto contatto tra di loro in quanto una eccessiva pressione può condurre al fenomeno del *blocking* ossia a un loro

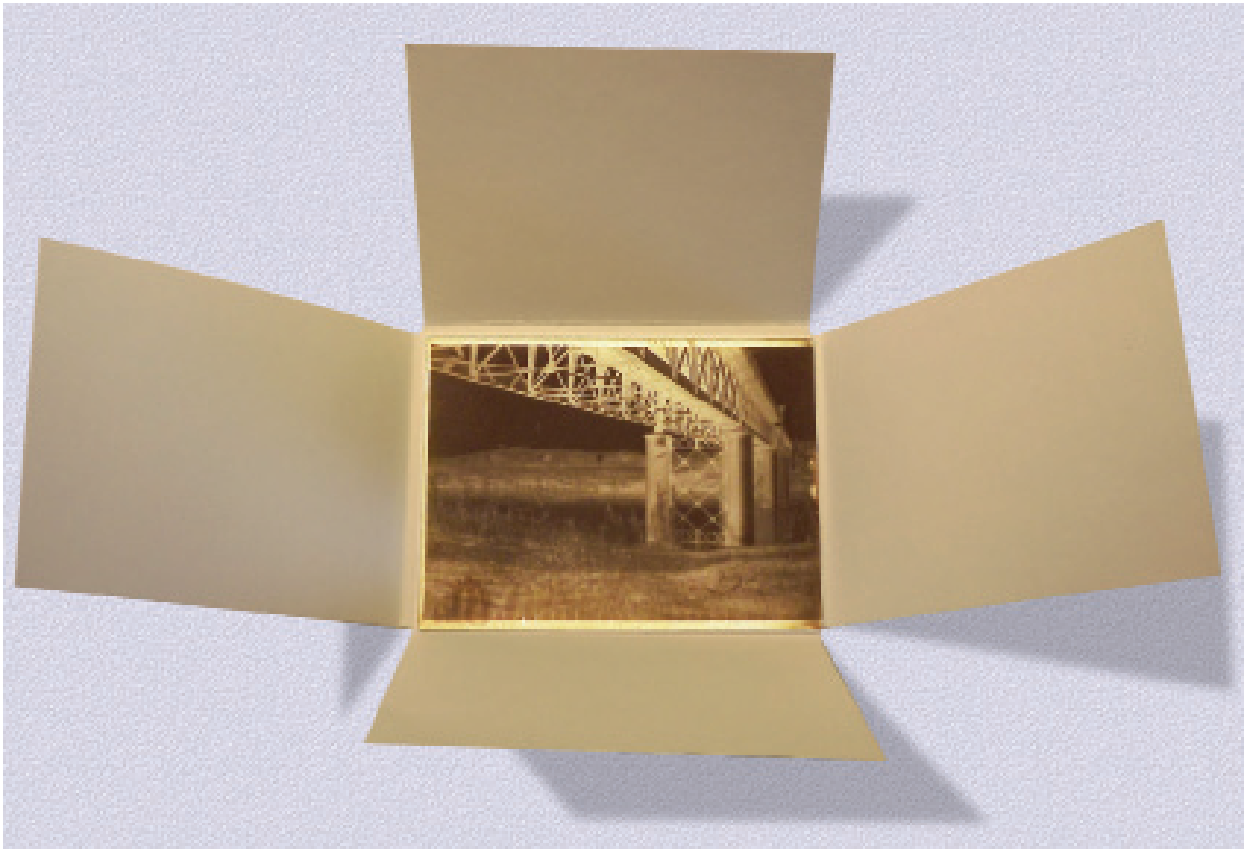


Fig. 11.26

Lastra di vetro alla gelatina degli anni Quaranta in busta a quattro falde

compattamento. Per questi delicati materiali è consigliabile una conservazione in *passe-partout* che permette di evitare il contatto con altre superfici.

Naturalmente si deve avere l'accortezza di non apporre la finestra del montaggio all'area stampata per scongiurare possibili abrasioni; a contatto con l'area stampata sarebbe da consigliare l'utilizzo del solo poliestere. L'eventuale vetro della cornice dovrebbe essere con il 99% di protezione anti-UV.

Per i grandi formati negli ultimi anni si è dedicata particolare attenzione alla ricerca di soluzioni tecniche e materiali di montaggio, al fine di ottenere stampe planari e rigide facilmente utilizzabili per le esposizioni nonché per l'alloggiamento. I sistemi di presentazione della fotografia attualmente preferiti dagli artisti, anche se dal punto conservativo non consigliabili, sono la laminazione e il montaggio Diasec®[30]. Il Diasec®, utilizzato a partire dagli anni 1970, apprezzato e usato per la bellezza e ricchezza tonale che rende all'immagine, consiste nel collocare la fotografia tra due materiali rigidi. Il *recto* della stampa aderisce a un pannello di polimetilmetacrilato – PMMA (materiale molto sensibile dal punto di vista fisico/chimico, chiamato correntemente Plexiglas®, Altuglas®, Perpex®) e vetro acrilico o vetro classico; il *verso* viene invece incollato a un foglio di Dibond® (supporto stabile e leggero formato da due lastre di alluminio con uno strato intermedio di polietilene) oppure a una semplice lastra di alluminio. L'adesione in questo tipo di montaggio è garantita da adesivi siliconici. Altre varianti sono il montaggio Kristal (Alu-Dibond®, resina acrilica, Plexiglas®) e il Plexiprint (Plexiglas®, resina acrilica e Plexiglas®). Tali montaggi sono purtroppo difficilmente reversibili e chimicamente instabili sul lungo termine. Nella laminazione il *verso* della stampa viene incollato su una superficie rigida di legno o di materiale plastico rigido (ad esempio Forex® o Gatofoam®) oppure Plexiglas® o ancora metallo (in genere alluminio)



Fig. 11.27

Montaggio conservativo per autocromia

o Dibond®. Il *recto* invece subisce una plastificazione dalla finitura lucida, *satin* o opaca, con l'utilizzo di film di PVC e adesivi acrilici.

Per negativi o trasparenze su vetro la tipica conservazione è nella busta a quattro falde in carta (grammatura almeno 120 g/m^2), ideata appositamente, come già indicato. In tal modo è consentita l'agevole consultazione di questa fragile tipologia di materiale, evitando rischi di scivolamento (fig. 11.26). Importante a questo proposito è prestare attenzione nella modalità di chiusura: ripiegare per prima la falda inferiore, poi le falde laterali e infine quella superiore. Le lastre devono essere collocate verticalmente (consigliabile per formati inferiori ai 20–25 cm), in contenitori rigidi (in cartone, polipropilene, polietilene, alluminio anodizzato o metalli verniciati a forno) e appoggiate sul lato lungo (per un minore carico) e separate da appositi divisori[31] (ogni 5 negativi circa) per una migliore protezione da possibili oscillazioni o sbilanciamenti durante le fasi di manipolazione e movimentazione. In caso di lastre di formato superiore a 20–25 cm si consiglia invece una archiviazione orizzontale in scatole rigide. È raccomandabile inoltre non caricare eccessivamente i contenitori per scongiurare possibili cadute che potrebbero comportare danni irreparabili ai materiali e per la sicurezza degli operatori.

In caso di lastre (fig. 11.27) che presentino rotture o incrinature sarebbe opportuno munirle di ulteriore protezione in montaggi adeguati, predisposti da restauratori specializzati, che consentano anche una buona consultazione come negli esempi mostrati.

Per questi materiali con supporto di vetro di riferimento è la norma ISO 18918:2000[32], che specifica le condizioni di conservazione e fornisce raccomandazioni sulle procedure di ispezione e precauzioni da adottare (per lastre di vetro al collodio secco e umido, alla gelatina, ambrotipi, lastre con schermo a colori, per lanterna, per ambrotipi e ferrotipi) e la ISO 18902 in merito agli involucri e contenitori da adottare. Le diapositive, montate generalmente sotto vetro, hanno l'emulsione in parte protetta da polveri, graffi, impronte digitali, tuttavia nell'interfaccia tra montaggio e immagine si possono manifestare danni derivanti da fenomeni di condensa in grado di provocare adesione al vetro o sviluppo di microrganismi; tali danni possono aggravarsi in condizioni di conservazione non idonee. Dopo l'intervento di pulitura, le diapositive vanno convenientemente conservate in adeguate scatole di cartone o polipropilene rigido a scomparti, oppure nelle apposite

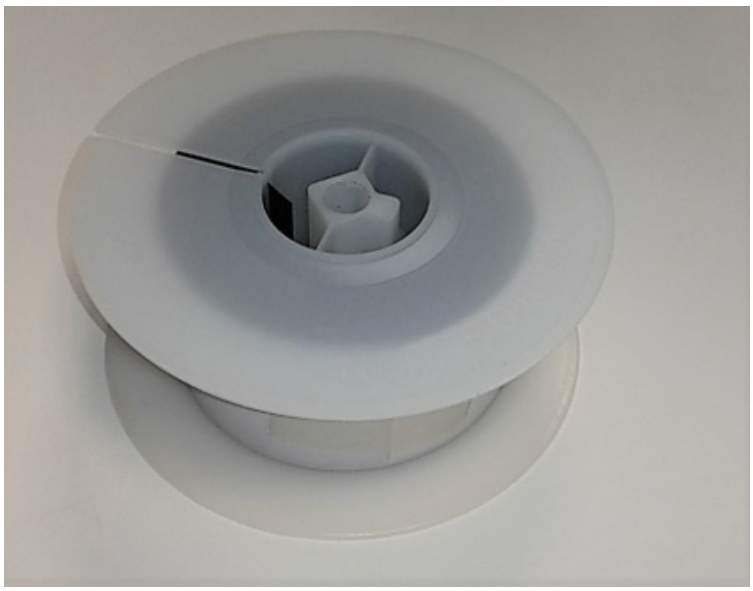


Fig. 11.28

Microfilm avvolto su rocchetto in plastica. Visibile la striscia di carta che serve a proteggere e fermare la pellicola

tasche su misura ricavate da fogli di polietilene o poliestere perforati su un lato lungo, da inserire in raccoglitori sempre testati PAT, del tipo ad anelli.

Le diapositive prive di montaggio possono essere alloggiate come gli altri negativi su pellicola o montate in telai di cartoncino neutro (esempio *Kodak cardboard Ready-Mounts*).

Negativi su materiale plastico di grande formato possono essere montati singolarmente e fermati con angolini in poliestere in camicie di carta. A volte pellicole fotografiche e cinematografiche sono strettamente avvolte all'interno di porta rulli/rullini metallici, la cui chiusura ermetica non consente una sufficiente circolazione d'aria. La possibile conseguenza è che l'interno della scatola diventi un microambiente ad alto tasso di umidità relativa con possibili danni al materiale e ulteriore rischio di formazione di ruggine sulle pareti interne dell'involucro a contatto con la pellicola. Studi sul comportamento di pellicole in triacetato conservate in scatole di plastica e metalliche hanno evidenziato che, mentre nelle prime l'acetato depolimerizza più velocemente ma sviluppa più lentamente acidità, nei contenitori metallici avviene l'esatto contrario. Nel primo caso l'acido acetico liberato e adsorbito dalla plastica reagisce parzialmente con essa dando luogo alla formazione di perossidi che provocano la rottura dei legami polimerici del triacetato; nel metallo, invece, l'acido non adsorbito corrode la scatola mentre i perossidi sono neutralizzati dagli ioni metallici[33].

È preferibile, se possibile, sostituire il metallo con materiali permeabili (il cartone attenua inoltre le fluttuazioni di UR) oppure una alternativa, meno efficace, è quella di allentare l'avvolgimento per diminuire la tensione delle pellicole, aumentare lo spazio tra le spire e praticare dei fori nelle scatole, sia per facilitare la circolazione d'aria sia per dissipare le esalazioni di acido (purché si disponga di locali ben ventilati con sufficienti ricambi d'aria). Per evitare la contaminazione acida, le pellicole di tipologie differenti dovrebbero essere conservate separatamente da altri materiali fotografici. Alluminio anodizzato e acciaio inossidabile sono indicati anche per l'archiviazione a più stretto contatto. Sul mercato si trovano contenitori realizzati in polipropilene o polietilene, i *film cans* sono dotati di un foro per la ventilazione.

La norma ISO 18911:2010[34] è quella di riferimento per pellicole fotografiche di sicurezza (a rullo, piane, a*perture-card* o *sheet* di vario formato) ma non per quelle in nitrato di cellulosa che richiedono speciali considerazioni di conservazione (vedi Capitolo 12). Per le diverse e complesse problematiche che presenta, la conservazione dei materiali plastici (pellicole in nitrato e acetato di cellulosa) viene affrontata separatamente e più dettagliatamente nell'ambito della conservazione alle basse temperature trattata nel capitolo successivo.

I microfilm (bobine con i formati più comuni: 16 e 35 mm e *microfiche*, lastre piane) devono essere sistemati singolarmente in contenitori di carta o

plastica avvolti in rocchetti di materiali resistenti alla corrosione, con caratteristiche di non infiammabilità, stabilità e inerzia chimica. Il collare, la striscia che serve cioè a fermare la pellicola e impedirne lo srotolamento, deve essere in cartoncino a norma, bloccabile e a contatto solo con l'ultima spira della parte terminale priva di fotogrammi (coda della pellicola) (fig. 11.28). Il lato emulsione va rivolto all'interno.

Premessa alla conservazione degli album Infine la conservazione degli album fotografici richiede accortezze particolari, infatti tali manufatti devono essere posti in piano all'interno di contenitori rigidi o scatole in modo da minimizzare gli stress sul dorso e in modo da impedire una eventuale fuoriuscita delle fotografie dalla sede di inserimento. Possono anche essere interfogliati con carta sottile idonea per la conservazione[35] quali carta velina o carta giapponese di grammatura adeguata.

Le rilegature presentano spesso stati conservativi critici e le pagine, sovente di cartone rigido (soprattutto quelle ottocentesche), nel momento in cui vengono girate determinano pericolose sollecitazioni sia sul dorso sia sulla coperta. In tal caso per la consultazione è consigliabile utilizzare un leggio (*book cradle*) in modo che il manufatto possa essere visionato mediante una apertura di non più di 120° (90° in caso di legatura stretta) senza esercitare eccessive pressioni sul dorso o sulle cerniere dei piatti, come del resto avviene per l'osservazione di volumi di pregio o nell'ambito di eventi espositivi: con questa modalità si garantisce una buona apertura minimizzando il rischio di danneggiare la legatura. Un leggio di questo tipo, il *Book Support System*, in Plexiglas®, progettato dal conservatore Christophen Clarkson, è costituito da sei elementi sistemabili in modo appropriato, mano a mano che si procede nella consultazione, al fine di ottenere il migliore sostegno. Questi elementi possono essere aggiunti o tolti per assecondare le variazioni di profilo nelle diverse posizioni di apertura del manufatto. I sostegni in gommapiuma (poliuretano espanso) variamente posizionabili forniscono un adeguato sostegno mantenendo il grado di apertura al di sotto dei 180°[36].

A tale scopo vengono proposti anche modelli di scatole "a conchiglia" o contenitori realizzati *ad hoc* con incorporati leggii all'interno, apribili e richiudibili, che permettono la visione degli album senza dover ricorrere alla loro estrazione, riducendo così al minimo la manipolazione. Da non dimenticare che la scelta dei contenitori e la modalità di alloggiamento possono essere, in taluni casi, strettamente legate alle specifiche caratteristiche dell'ambiente conservativo/espositivo[37]. Infine è da tenere presente che le fotografie inserite in album moderni costituiti da fogli adesivi trasparenti dovrebbero essere rimosse e alloggiate adeguatamente.

La bibliografia dedicata agli album fotografici o meglio agli album di fotografie è, in generale ridotta, per tale motivo si fornisce una panoramica disponibile di testi al riguardo[38].

11.4 Adsorbitori e *scavengers*

Per limitare gli effetti dell'umidità negli ambienti conservativi/espositivi o all'interno di arredi e contenitori, si può ricorrere all'uso di stabilizzatori passivi come i gel di silice (preparati a partire dal biossido di silicio – SiO_2 – rigenerabili e disponibili con varie formulazioni). Disidratanti di sintesi, caratterizzati da un alto grado di purezza, questi prodotti agiscono grazie a un processo chimico-fisico con cui il vapore acqueo viene sottratto all'aria

per adsorbimento. L'adsorbimento è un fenomeno per il quale la superficie di una sostanza solida, detta adsorbente, fissa molecole provenienti da una fase gassosa o liquida con cui è a contatto. Il gel di silice con l'indicatore di cobalto blu, classificato pericoloso per la salute e da tempo vietato, è stato sostituito da gel di silice senza cobalto e da altri prodotti (cosiddetti gel ibridi) quali: l'ARTSorb® e il PROSorb®. Vietato anche è l'uso del biocida dimetilfumarato (DMF) contenuto in piccoli sacchetti a volte con la denominazione *silica gel,* in quanto gravemente nocivo.

L'ARTSorb® e il PROSorb® hanno una capacità di tamponamento fino a cinque volte superiore a quella dei tradizionali gel di silice. In particolare:

- l'ARTSorb®, biossido di silicio al 90% con aggiunta di cloruro di litio, è disponibile in grani, in fogli di tessuto non tessuto in fibre di polietilene/polipropilene impregnato e in cassette costituite da cartone e tessuto non tessuto (utile anche per rivestire pareti di contenitori); viene fornito precondizionato al 55% ma sono possibili altre calibrazioni (per beni che devono essere mantenuti tra il 60% e il 75% di UR);
- il PROSorb®, biossido di silicio al 97% e ossido di alluminio al 3%, privo di cloruro di litio (dannoso per i metalli), è distribuito in grani e cassette, risulta più economico e di maggiore durata; ha una capacità di assorbimento all'interno di valori compresi fra il 40% e il 60% di UR. Di possibile utilizzo è anche l'argilla essiccante naturale (bentonite) attivata termicamente come il Desi-Pak®, confezionata in sacchetti di Tyvek® (tessuto non tessuto – composto da fibre di polietilene ad alta densità pressate a caldo – *high-density polyethylene*, HDPE) o di carta kraft antipolvere.

Di più recente proposta è il Propadyn®, regolatore di umidità biodegradabile proveniente dal settore alimentare (biocompatibile con ingredienti naturali) in grado di mantenere costante l'UR a un livello definito tra il 30% e l'80%. Molto performante nel lungo tempo è capace di assorbire fino al 160% del suo peso con una grande reattività.

Vi sono poi altri adsorbitori, i cosiddetti *scavengers*, letteralmente "spazzini". Questi mezzi di adsorbimento trovano impiego nella purificazione chimica essendo capaci di rimuovere (trattenendo o concentrando) impurità da gas o liquidi facendole aderire alla loro stessa superficie: comprendono il carbone attivo, le argille attivate, le zeoliti ecc.

Il carbone attivo, costituito per la gran parte da atomi di carbonio di origine vegetale o minerale, ha una struttura caratterizzata dall'avere a disposizione una ampia superficie specifica dovuta all'alta porosità. La maggior parte dell'adsorbimento avviene nei pori (10–30 Å) e il grado con cui la sostanza viene adsorbita dipende dal peso e dalla grandezza molecolare (indicati dalla temperatura critica e dal punto di ebollizione).

I gas con basso punto di ebollizione come l'etilene, la formaldeide, l'ammoniaca, il cloruro d'idrogeno ecc., sono discretamente adsorbiti mentre vapori a più alto punto di ebollizione come le aldeidi, i chetoni, gli alcoli, gli acidi volatili, gli eteri, gli esteri ecc., sono ben adsorbiti. Alcuni ricercatori, come riporta Godish (1990)[39], hanno evidenziato che livelli di UR superiori al 50% sono in grado di ridurre significativamente la capacità adsorbente, altri invece suggeriscono che il vapore acqueo non è ben trattenuto e non costituisce un fattore significativo per purificare l'aria del microambiente. Taluni prodotti basati sul carbone sono impregnati con idrossido di sodio o di potassio per migliorare la capacità di rimozione, la loro reazione non è

però reversibile poiché gli inquinanti reagiscono con gli idrossidi formando un nuovo prodotto. Questi materiali sono particolarmente efficaci nel rimuovere gas come il biossido di zolfo, il solfuro di idrogeno, l'ossido di azoto e l'acido acetico[40].

Le argille attivate comprendono i silicati di magnesio, allumina, composti dello zinco e *silica gel*. Le zeoliti[41] (secondo la definizione IMA-CNMMN sostanze cristalline con struttura caratterizzata da impalcatura formata da tetraedri uniti tra di loro – il *framework* comprende cavità aperte sotto forma di gabbie e canali) naturali o sintetiche, esattamente alluminosilicati, sono una classe di "setacci molecolari", materiali cioè che possono separare e trattenere con elevata selettività molecole in base alle dimensioni (acido acetico, ammoniaca, diossido di zolfo, perossido di idrogeno ecc.).

Tali sistemi, da inserire nei contenitori chiusi ermeticamente, ad esempio nella conservazione delle pellicole in acetato, sembrano essere in realtà efficaci più come essiccanti che come neutralizzatori degli acidi, tanto che studi specifici[42] hanno indicato ritrazioni del supporto proprio per effetto dell'abbassamento dell'umidità relativa all'interno delle confezioni.

Interessante metodologia di conservazione introdotta agli inizi degli anni Novanta, sono le carte e i cartoni con il sistema filtrante MicroChamber®, di brevetto americano, che offrono una protezione attiva contro numerose sostanze inquinanti e sono presenti sul mercato con marchi registrati quali: Alphamat® e Artcare®[43]. Si tratta di carte, cartoncini e cartoni distribuiti anche sotto forma di buste, cartelle, scatole, fogli per interfogliazione, incorniciatura e montaggio composti da tre strati di carta di pura cellulosa priva di lignina, nelle cui fibre sono disperse sostanze capaci di interagire in maniera selettiva con diversi deteriogeni, utilizzando come "trappole" zeoliti e/o carboni attivi[44]. I prodotti MicroChamber® sono stati sperimentati per la conservazione di ogni tipologia di oggetto museale e hanno dimostrato di possedere i requisiti richiesti compreso il PAT. Uno studio[45] effettuato sulle caratteristiche dell'efficacia di due carte [la MicroWrap – MCN – 155 g/m^2, spessore di 0,20 mm con strato poroso di carbone attivo e $CaCO_3$ e zeoliti (Al e Si) e la End Leaf – MCB – 130 g/m^2, spessore 0,16 mm, che non possiede carbone attivo ma zeoliti e $CaCO_3$] ha dato risultati incoraggianti in termini di protezione e stabilizzazione dello stato di conservazione dei materiali fotografici, anche dei più delicati come le stampe e le pellicole a colori. Resta da verificarne l'efficienza protettiva nelle condizioni reali di utilizzo nel lungo periodo.

L'ossigeno, elemento che interviene in numerosi processi ossidativi e quindi degradativi dei materiali plastici, metalli ecc., può essere rimosso dal microambiente (opportunamente realizzato con pellicole *ad hoc*) mediante adsorbimento. Gli adsorbitori di ossigeno (*oxygen scavengers*) riducono la concentrazione di tale gas al di sotto dello 0,01% tramite fenomeni di ossidazione (reazione esotermica con produzione di calore). Usati anche per la disinfestazione, modificando le proporzioni dei gas atmosferici con la sottrazione dell'ossigeno, provocano la morte degli organismi aerobi (per eliminare gli insetti infestanti occorrono almeno tre settimane di trattamento ad una temperatura di 25°C)[46] (vedi Capitolo 10).

Un noto adsorbitore in grado di ridurre la quantità di ossigeno nel microambiente, è l'Ageless® prodotto in Giappone nel 1977 dalla Mitsubishi Gas Chemical America, Inc. Costituito da polvere finissima di ferro metallico e cloruro di sodio, l'adsorbitore nasce per l'industria alimentare al fine di estendere la *shelf-life* di alcuni alimenti, conservandone le proprietà organolettiche, la stabilità cromatica e proteggendoli dalle contaminazioni microbi-

che, riducendo così complessivamente la velocità di decadimento qualitativo del prodotto. L'adsorbitore, confezionato in semplici bustine da inserire all'interno di involucri chiusi ermeticamente, non interagisce con il bene; l'unica accortezza è di non porlo a diretto contatto per evitare possibili contrazioni innescate dalle deformazioni che il contenitore può subire durante la fase di adsorbimento, e/o aumenti di temperatura dovuti alla reazione di trasformazione dei sali ferrosi in ferrici. Opportuno è anche introdurre nella confezione indicatori di ossigeno per verificare la reale concentrazione del gas all'interno dell'involucro reso anossico e per accertare anche la buona riuscita del trattamento. Altri prodotti dalle caratteristiche simili sono il FreshPax® americano della Multisorb Technologies Inc. introdotto nel 1984[47] e l'Atco® di produzione francese. Generalmente il più utilizzato, per l'elevata efficacia, è l'Ageless®.

Si cita tra l'altro il Corrosion Intercept™ che serve per proteggere materiali sensibili dalla corrosione. Multistrato composto da particelle di rame altamente reattive e finemente divise in una matrice di polimero, generalmente polietilene, è disponibile in fogli, involucri, film (rullo, stretch ecc.). Previene l'ingresso dell'umidità e neutralizza inquinanti atmosferici e gas ossidanti derivanti dal microambiente e dai materiali stessi; di color bronzo-ramato diventa grigio nero quando le particelle reagiscono con i gas nocivi e a questo livello deve essere sostituito (la protezione contro la corrosione viene approssimativamente stimata in dieci anni per uno spessore di 0,025 mm)[48].

Altro sistema è l'Intercept™/Alu, film multistrato composto da polipropilene e alluminio dal lato esterno e dal Corrosion Intercept® nel lato interno. La differenza con gli altri prodotti è che questo materiale, originariamente sviluppato nel settore aerospaziale, risulta in grado non solo di intercettare gas ed inquinanti ma di reagire con essi neutralizzandoli completamente.

Questi materiali vengono utilizzati ad esempio nella conservazione di fotografie (quali i dagherrotipi) in appositi montaggi, diversamente ideati e creati allo scopo[49].

Classe relativamente nuova di materiali porosi e cristallini, con una vasta gamma di applicazioni, sono le strutture metallo-organiche, *metal-organic frameworks* (MOFs). Progressi sono stati compiuti riguardo i MOF, materiali porosi cristallini ibridi che combinano subunità metalliche e molecole di leganti organici. Composti infatti da ioni metallici che fungono da giunti, cioè da *linker*, vanno a formare una struttura ripetitiva, simile a una gabbia; grazie a questa struttura cava hanno una superficie interna straordinariamente ampia che li attesta come efficaci e selettivi adsorbitori superiori alle zeoliti. Questi materiali possono essere utilizzati per la cattura dell'acido acetico, composto organico volatile, di cui si è parlato nei Capitoli 6 e 12, che può accelerare il deterioramento di molti manufatti culturali come ad esempio le pellicole fotografiche e cinematografiche in acetato di cellulosa. Studi recenti di Dedecker *et al.* (2018; 2019)[50] sono dedicati proprio all'uso di questi materiali per la cattura di vari composti organici volatili, inquinanti, compreso l'acido acetico.

Da citare infine sempre in merito ai MOFs, il progetto NEMOSINE[51], finanziato dall'Unione Europea, che ha studiato il loro uso per migliorare la conservazione dei beni costituiti dai derivati della cellulosa. Il progetto ha come scopo quello di ottimizzare le tradizionali soluzioni di stoccaggio di pellicole fotografiche e cinematografiche, diapositive ecc., memorie visive e sonore che rischiano di essere perse a causa della naturale instabilità dell'acetato di cellulosa.

Note alle immagini

Figg. 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, 11.10, 11.11 e 11.12 riprese fotografiche e digitalizzazioni di Pierluigi Manzone (collezione Pierluigi Manzone).

Figg. 11.13, 11.14, 11.15, 11.16, 11.17, 11.18, 11.19, 11.20, 11.21, 11.22, 11.23, 11.24, 11.25, 11.26, 11.27 e 11.28 riprese fotografiche di Roberto Bianchi.

I materiali fotografici rappresentati nelle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] M.B. Bertini, *Prevenire è Meglio che Curare: la Conservazione Preventiva, ovvero come Ottenere i Migliori Risultati Possibili con Risorse Limitate*, Milano, Archivio di Stato di Milano, 2002; D. Matè, L. Residori, *La conservazione delle fotografie*, in *Chimica e Biologia Applicate alla Conservazione degli Archivi*, Centro di fotoriproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione generale degli Archivi, Roma, 2002, pp. 475–487; D. Matè, L. Residori, *Il deterioramento e la conservazione delle fotografie*, in *Memoria e Futuro dei Documenti su Carta: Preservare per Conservare*, A. Zappalà (ed.), Udine, Forum, 2002, pp. 255–298; Conseil Canadien des Archives, *Manuel de Conservation des Documents d'Archives, Chapitre 6 – Supports d'Information*, 2003, pp. 60–84, da: http://archivescanada.ca/uploads/files/Publications/RBch6_fr.pdf (consultato il 14/06/2022); M.B. Bertini, *La Conservazione dei Beni Archivistici e Librari. Prevenzione e Piani di Emergenza*, Roma, Carocci, 2005; G. Pasquariello, D. Matè, M.C. Sclocchi, P. Valenti, *Linee guida nella conservazione*, in *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol. I, Biodeterioramento e Conservazione, G. Caneva, M.P. Nugari, O. Salvatori (eds.), Firenze, Nardini Editore, 2005, pp. 274–282; E.P. Adcock, *Principi dell'IFLA per la Cura e il Trattamento dei Materiali di Biblioteca*, con la collaborazione di Marie-Thèrése Varlamoff e Virginie Krempf, Edizione italiana a cura della Commissione nazionale Biblioteche e servizi nazionali, Roma, AIB, 2005; D. Matè, A. Laudisa, *Contenitori e montaggi per i documenti fotografici*, in *AFT, Rivista di Archivio Fotografico Toscano*, XXII, 44, 2006, pp. 3–12.

[2] C. Capderou, F. Flieder, *Sauveguarde des Collections du Patrimoine. La Lutte contre les Détériorations Biologiques*, Paris, CNRS Editions, 1999; S. Berselli, L. Gasparini, *L'Archivio Fotografico – Manuale per la Conservazione e la Gestione della Fotografia Antica e Moderna*, Bologna, Zanichelli, 2000; D. Matè, L. Residori 2002, *op. cit.*; D. Matè, L. Residori 2002, *op. cit.*

[3] W.A. Oddy, *The corrosion of metals on display*, in *Conservation in Archaeology and the Applied Arts*, N.S. Brommelle, P. Smith (eds.), London, International Institute for Conservation, 1975, pp. 235–237; V.D. Daniels, S. Ward, *A rapid test for the detection of substances which will tarnish silver*, in *Studies in Conservation*, 27, 1982, pp. 58–60 DOI: 10.1179/sic.1982.27.2.58; J. Zhang, D. Thickett, L. Green, *Two tests for the detection of volatile organic acids and formaldehyde*, in *JAIC*, 33, 1, 4, 1994, pp. 47–53, DOI: 10.1179/019713694806066446; J.A. Bamberger, E.G. Howe, G. Wheeler, *A variant Oddy test procedure for evaluating materials used in storage and display cases*, in *Studies in Conservation*, 44, 2, 1999, pp. 86–90, DOI: 10.2307/1506720; P.B. Hatchfield, *Pollutants in the Museum Environment*, London, Archetype Publications, 2002; L. Robinet, D. Thickett, *A new methodology for accelerated corrosion testing*, in *Studies in Conservation*, 48, 4, 2003, pp. 263-268, DOI: 10.1179/sic.2003.48.4.263; J. Tétreault, E. Cano, M. van Bommel, D. Scott, M. Dennis, M.G. Barthés-Labrousse, L. Minel, L. Robbiola, *Corrosion of copper and lead by formaldehyde, formic and acetic acid vapours*, in *Studies in Conservation*, 48, 4, 2003, pp. 237-250, DOI: 10.1179/sic.2003.48.4.237; Library of Congress, *Evaluation of Storage Materials: Alternatives to the Oddy Test*, da: https://www.loc.gov/preservation/scientists/projects/detail/extract_whatman.html (consultato il 16/06/2022).

[4] P.B. Hatchfield 2002, *op. cit.*; B. Lavédrine, *A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections*, Los Angeles, Getty Conservation Institute, 2003.

[5] *Ibid.*

[6] J.P. Gandolfo, B. Lavédrine, S. Monod, *Les Collections Photographiques: Guide de Conservation Préventive*, Paris, Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques, 2000; D. Matè, L.

Residori 2002, *op. cit.*; D. Matè, L. Residori 2002, *op. cit.*; B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[7] ISO 11799:2015, *Information and documentation – Document storage requirements for archive and library materials*, Ginevra, International Organization for Standardization, 2015.

[8] UNI 10586:1997, *Documentazione. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti*, Milano, Ente Nazionale di Unificazione, 1999.

[9] C. Capderou, F. Flieder 1999, *op. cit.*; J. Rhys-Lewis, *Conservation and Preservation Activities in Archives and Libraries in Developing Countries*, Association of Commonwealth Archivists and Records Managers, London, Metropolitan Archives, 2000.

[10] F. Pinzari, M. Montanari, *Mould growth on library materials stored in compactus-type shelving units*, in *Sick Buiding Syndrome in Public Buildings and Workplaces*, A. Sabah Abdul-Wahab (ed.), Berlino, Springer Verlag, 2011, pp. 193–206; M. Montanari, V. Melloni, F. Pinzari, G. Innocenti, *Fungal biodeterioration of historical library materials stored in compactus movable shelves*, in *International Biodeterioration & Biodegradation*, 75, 2012, pp. 83–88.

[11] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[12] L. Gasparini, *Fototeche e Raccolte fotografiche*, AIB, Seminario di formazione, 2007, da: https://www.aib.it/aib/commiss//libro/w/x080303a.htm (consultato il 15/06/2022).

[13] G. Botto-Micca, E. Grandis, *Carta* in *Estratto dall'Enciclopedia della stampa*, Torino, Società Editrice Internazionale, 1969.

[14] ISO 18902:2013, *Imaging materials. Processed imaging materials. Albums, framing and storage materials* (reviewed and confirmed in 2018), Ginevra, International Organization for Standardization; B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[15] D.M. Burge, J.M. Reilly, D.W. Nishimura, *Effects of enclosure papers and paperboards containing lignins on photographic image stability*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 41, 2002, pp. 279–290.

[16] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[17] D.M. Burge *et al.* 2002, *op. cit.*

[18] ISO 9706:1994, *Information and documentation – Paper for documents – Requirements for permanence* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization, 1994.

[19] ISO 11108:1996, *Information and documentation – Archival paper – Requirements for permanence and durability* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization, 1996.

[20] TAPPI T509:2002, *Hydrogen ion concentration (pH) of paper extracts (cold extraction method)*; ASTM D1193 – 06:2018, *Standard Specification for Reagent Water.*

[21] ISO 10716:1994, *Paper and board Determination of alkali reserve* (revised by ISO 10716:2022), Ginevra, International Organization for Standardization, 1994.

[22] ISO 18916:2007, *Imaging materials – Processed imaging materials – Photographic activity test for enclosure materials* (reviewed and confirmed in 2015), Ginevra, International Organization for Standardization, 2007.

[23] RIT, Image Permanence Institute, *Photographic Activity Test*, da: https://www.imagepermanenceinstitute.org/tests/pat.html (consultato il 16/06/2022).

[24] D. Matè, L. Residori 2002, *op. cit.*

[25] *Ibid.*

[26] ISO 18920:2011, *Imaging materials – Reflection prints – Storage practices* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization, 2011.

[27] L. Held, D. Burge, D. Nishimura, *The effects of acidic, alkaline, buffered, and non-buffered enclosures on cyanotypes,* in *Topics in Photographic Preservation*, 14, 39, 2011, pp. 237–249.

[28] M. Ware, *Cyanotypes: the History, Science and Art of Photographic Printing in Prussian Blue*, London, Science Museum, Bradford, England, National Museum of Photography, Film & Television, 1999.

[29] M.B. Mizen, C.M. Mayhew, *Influence of Enclosure and Mounting Materials on the Stability of Inkjet Images*, Final Program and Proceedings of IS&T's

NI PI7: International Conference on Digital Printing Technologies, Fort Lauderdale, October 3, 2001, pp. 231–234.

[30] S. Squoquart, *La conservation-restauration des photographies couleur montées par la face sur PMMA*, in *CeROArt, Conservation, Exposition, Restauration d'Objets d'Art*, 2012, DOI:10.4000/ceroart.2700.

[31] K. Einaudi, P. Vian, *La Fragilità Minacciata, Aspetti e Problemi della Conservazione dei Negativi Fotografici*, Roma, Unione Internazionale degli Istituti di Archeologia, 1991; ISO 18918:2000, *Imaging materials. Processed photographic plates. Storage practices* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization, 2000.

[32] ISO 18918:2000, *op. cit.*

[33] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[34] ISO 18918:2000, *op. cit.*

[35] S. Zachary, *Conservation of Scrapbooks and Albums: Postprints of the Book and Paper Group/ Photographic Materials Group Joint Session at the 27th AIC Annual Meeting, June 11 1999, St. Luois, Missouri, 1999*, pp. 47–64, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2000.

[36] L.A. Blaser, *Construction of Plexiglas Book Cradles*, The Book and Paper Group Annual, vol. 15, The American Institute for Conservation, 1996, da: http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v15/bp15-02.html (consultato il 16/06/2022); C. Clarkson, *The safe handling and display of medieval manuscripts and early printed books*, in *The New Bookbinder*, 19, 1999, pp. 12–38; E.P. Adcock 2005, *op. cit.*; M.L. Russo, *Come esporre il materiale librario. Criteri e consigli per la scelta di supporti e leggii*, in *Biblioteche Oggi*, gennaio-febbraio, 2005, pp. 41–46.

[37] C. Garofalo, *I cieli di Mariano Fortuny y Madrazo. L'album fotografico "CIELS": dallo studio della collezione al restauro dell'album*, Tesi di Scuola di Alta Formazione e Studio (Corso di diploma quinquennale), Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario, AA. 2017/2018.

[38] G. Hill, *The conservation of a photograph album at the National Archives of Canada*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 30, 1, 1991, DOI: 10.2307/3179518; A. Simon, *Les problématiques historiques et techniques des albums de photographies peintes japonaises du XIXe siècle. La conservation-restauration d'un album de Stillfried & Andersen conservé au Musée des Arts asiatiques-Guimet*, Mémoire de fin d'études d'Annabelle Simon, Institut de formation des restaurateurs d'oeuvres d'art (IFROA), Paris 1997; O. Primanis, *The Design of a Photo Album Structure with Removable Leaves: Rebinding Photographs Vol. III by Lewis Carroll*, Paper delivered at the Book and Paper specialty group session, AIC 26th Annual Meeting, June 1–7, 1998, Arlington, Virginia, The American Institute for Conservation, 1998, da: https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v17/bp17-13.html (consultato il 15/06/2022); O. Primanis, *Nineteenth-century photograph albums: structures, condition, and treatment*, in *Conservation of Scrapbooks and Albums: Postprints of the Book and Paper Group/ Photographic Materials Group Joint Session at the 27th AIC Annual Meeting, June 11 1999, St. Luois, Missouri, 1999,* pp. 47–64, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2000; M. Quétin 1999, *op. cit.*; S. Zachary *op. cit.*, 2000; Institut international de conservation des oeuvres historiques et artistiques, Section française, Groupe photographie, *L'Album Photographique. Histoire & Conservation d'un Objet*, Journées d'études du groupe photographie de la Section française de l'Institut international de conservation, Museum national d'histoire naturelle, Paris 26-27 novembre 1998, Champs-sur-Marne, Section française de l'Institut international de conservation, SFIIC, 2000; G. Lozano, *History and Conservation of Albums and Photographically Illustrated Books*, Advanced Residency Program in Photograph Conservation, George Eastman House, 2007; F. Le Corre, *Les Albums de Photographie. Une Lecture Dirigé*e, Musée de l'Armée (cabinet des estampes), Paris, 2019, pp. 1–8, da: http://sfiic.free.fr/telecharg/lecorre.pdf (consultato il 15/06/2022).

[39] T. Godish, *Indoor Air Pollution Control,* Chelsea, Mich., Lewis Publishers, Inc., 1990.

[40] Purafil Inc., *Environmental Control for Museums, Libraries, and Archival Storage Areas*, Norcross, GA, Purafil, Inc., 1993.

[41] G.S. Brady, H.R. Clauser, J.A. Vaccari, *Materials Handbook*, 14th edn., New York, McGraw-Hill, 1997.

[42] A.T. Ram, D.F. Kopperl, R.C. Sehlin, *The effects and prevention of vinegar syndrome*, in *Journal of Imaging Science and Technology*, 38, 3, 1994, pp. 249–261.

[43] F. Daniel, V. Hatzigeorgiou, S. Copy, F. Flieder, *Etude de l'efficacité d'un nouveau produit d'archivage: le Microchamber®*, in *Les Documents Graphiques et Photographiques. Analyse et Conservation*, Paris, Direction des Archives de France – La documentation française, 1999.

[44] Library of Congress, *Performance Evaluation of 4-Ply Rag Boards Containing Calcium Carbonate and Zeolites*, Preservation Research and Testing Division Library of Congress, 101 Independence Ave SE, Washington D.C. 20540-4560 May 30, 2012, pp. 1–16 da: https://www.loc.gov/preservation/scientists/projects/NB%20Zeolite%20Report.pdf (consultato il 16/06/2022).

[45] F. Daniel *et al.* 1999, *op. cit.*

[46] D. Pinniger, *Pest Management in Museums, Archives and Historic Houses*, London, Archetype Publications, 2001.

[47] P.B. Hatchfield 2002, *op. cit.*

[48] *Ibid.*

[49] J.-J. Chen, M. Beeman, *Preservation System for Housing Bare Plate Daguerreotypes*, in *Topics in Photographic Preservation*, 14, 2, 2011, pp. 282–287; C.M. Prieto, *Protecting daguerreotypes: a new Structural Housing System (SHS)*, in *Journal of the Institute of Conservation*, 40, 2017, pp. 226–241.

[50] K. Dedecker, R.S. Pillai, F. Nouar, J. Pires, N. Steunou, E. Dumas, G. Maurin., C. Serre, M.L. Pinto, *Metal-Organic Frameworks for Cultural Heritage Preservation: The Case of Acetic Acid Removal*, in *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10, 16, 2018, pp. 13886–13894, DOI:10.1021/acsami.8b02930; K. Dedecker, E. Dumas, B. Lavédrine, N. Steunou, C. Serre, *Metal-organic frameworks for the capture of volatile organic compounds and toxic chemicals*, in *Metal-Organic Frameworks (MOFs) for Environmental Applications*, 1st Edition, Amsterdam, Elsevier, 2019, pp. 141–178, DOI: 10.1016/B978-0-12-814633-0.00007-7.

[51] Horizon 2020 "Nemosine", *Innovative Packaging Solutions for Storage and Conservation of 20TH Century Cultural Heriatge of Artefacts Based on Cellulose Derivates*, 2018–2022, da: https://nemosineproject.eu/ (consultato il 16/06/2022).

12 La conservazione a basse temperature

Luciana Rossi, Donatella Matè

Questa sezione è dedicata alla conservazione di alcuni particolari materiali fotografici che, presentando proprie e specifiche problematiche di degradazione, necessitano di sistemi e apparati conservativi differenziati e adeguati. Si tratta di negativi e diapositive su supporto plastico a base di nitrato e acetati di cellulosa, e di alcuni procedimenti a colori. I primi sono soggetti a decomposizione e i sottoprodotti della loro degradazione possono determinare effetti dannosi sugli altri materiali collocati nello stesso ambiente, i secondi, per la notoria instabilità dei coloranti, tendono a sbiadire anche al buio e/o ad assumere diverse dominanti di colore (vedi § 5.3).

12.1 Problematiche relative al deterioramento di supporti plastici

Dal 1889 è stata fabbricata e commercializzata dalla Kodak Eastman Corporation la prima pellicola flessibile trasparente derivata dalla cellulosa, la celluloide, ottenuta dalla reazione tra acido nitrico (in presenza di acido solforico come disidratante e canfora come plastificante) e i gruppi alcolici della cellulosa. La reazione porta alla formazione del nitrato di cellulosa, un estere inorganico dal contenuto di azoto pari a circa il 10,5–11%[1]. Il nitrato ebbe presto una grande diffusione e fu utilizzato come supporto per negativi e positivi sotto forma sia di pellicola piana e di rullo in bianco e nero, sia cinematografica in bianco e nero e a colori. Fu anche largamente impiegato in campo medico per le radiografie X (fino al 1933) e nelle foto aeree fino ai primi anni Quaranta[2]. Ben presto però ci si rese conto dell'elevata instabilità di questo supporto dovuta alla sua alta infiammabilità (brucia 15 volte più velocemente del legno) e alla tendenza a decomporsi spontaneamente.

La decomposizione del nitrato avviene per stadi successivi: la pellicola ingiallisce, si accorcia, diventa fragile ed emette vapori corrosivi altamente ossidanti e acidi (monossido di carbonio, ossidi di azoto, acido cianidrico)[3]. Gli ossidi di azoto liberati, secondo il modello di Louvet *et al.* (1995)[4], in combinazione con l'umidità dell'aria, formano acido nitrico, un forte acido corrosivo che provoca l'autodegradazione dei negativi; se non allontanati, i prodotti gassosi della decomposizione possono determinare reazioni di idrolisi e ossidazioni in altri supporti organici (acetati, poliestere, carta) e fenomeni corrosivi nei metalli. Inoltre, questi prodotti rappresentano un serio rischio per la salute degli operatori (provocando irritazioni agli occhi e alla pelle, problemi respiratori ecc.[5]). La degradazione del nitrato è autocatalitica, si autoaccelera cioè svolgendo molto calore tanto che può evolvere fino all'autocombustione se la temperatura non è controllata. Tale decomposizione, con il conseguente rischio di combustione, è favorita da condizioni di temperatura e umidità elevate e da insufficiente ventilazione che impedisce la dissipazione dei vapori.

La reazione di combustione che produce gas tossici si autosostiene fornendo essa stessa l'ossigeno necessario. La propagazione di un incendio determinata dal nitrato è molto rapida, conduce alla combustione completa dei materiali ed è aggravata dalla possibilità che possano verificarsi esplosioni.

Le cronache del 1987 riportano di un gravissimo incendio sviluppatosi negli archivi romani di Cinecittà in cui presero fuoco pellicole degli anni Venti, Quaranta e Cinquanta, tutte di nitrato; in quell'occasione andarono distrutti circa un centinaio di film chiusi nelle loro scatole di metallo. Un evento analogo, alla fine degli anni Cinquanta, trasformò, sempre a Roma, il palazzo della casa cinematografica Minerva Film in un inferno. Ma la storia del cinema è costellata di incendi che hanno distrutto centinaia di migliaia di pellicole[6].

Normative di riferimento[7] per una conservazione in sicurezza, sono la statunitense NFPA 40 della National Fire Protection Association, che fornisce informazioni tecniche sulla sicurezza nello stoccaggio, la ISO 10356 del 1996 che specifica le modalità di immagazzinamento e manipolazione, la NFPA 232 e la NFPA 90A.

La normativa italiana prevede che il locale adibito a conservazione debba essere provvisto di rilevatore di fumi; l'archiviazione in aree speciali approvate dai Vigili del Fuoco è richiesta, tra l'altro, da molte polizze assicurative. I "Depositi ove si detengono carte fotografiche, calcografiche, eliografiche e cianografiche, pellicole cinematografiche, radiografiche e fotografiche con materiale in deposito superiore a 5.000 Kg" rientrano tra le attività soggette a visite e controlli di prevenzione incendi in base al D.P.R. n. 151 del 1 agosto 2011, pubblicato il 22 settembre sulla G.U.: "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4 – quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122". Il regolamento individua le attività sottoposte alla disciplina della prevenzione incendi ed opera una sostanziale semplificazione relativamente agli adempimenti da parte dei soggetti interessati. Lo stesso, del resto, viene previsto per i "Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg".

Per gli evidenti motivi di instabilità e, conseguentemente di sicurezza, l'uso del nitrato decadde sostituito progressivamente a partire dal 1925, dalle pellicole in acetato di cellulosa cosiddette *safety*, che apparvero un ideale rimpiazzo perché non infiammabili e quindi considerate più stabili.

Con il termine acetato di cellulosa si raggruppano una varietà di esteri organici della cellulosa che includono: diacetato di cellulosa, triacetato di cellulosa ed esteri misti (acetato-propionato e acetato-butirrato di cellulosa). La manifattura della pellicola avviene per acetilazione dei gruppi alcolici della cellulosa con anidride acetica in ambiente acido e in presenza di catalizzatori. Il grado di sostituzione dei gruppi laterali alcolici (3 per ogni molecola di glucosio) non può mai essere superiore a 2,76 per l'impossibilità che 3 gruppi acetile, per ingombro sterico, possano entrare nella massa polimerica; quanto maggiore è il tasso di sostituzione (da 1,5 a 2,76), più stabile sarà il polimero. Il diacetato, con un grado di sostituzione di 1,5–2,3, è caratterizzato da scadenti proprietà meccaniche e scarsa stabilità dimensionale; il triacetato, comparso intorno al 1934, risulta un po' più stabile avendo un grado di sostituzione di 2,76[8].

Anche gli acetati, pur non essendo infiammabili e quindi più sicuri, rivelarono ben presto una naturale predisposizione ad un progressivo deterioramento. Essi tendono infatti a decomporsi rilasciando per idrolisi, acido acetico; sintomi evidenti della degradazione sono le tipiche e note manifestazioni che vanno sotto il nome di "sindrome dell'aceto"[9] (*vinegar*

syndrome) con comparsa di acidità, pungente odore di aceto, restringimenti, infragilimenti, depositi cristallini, bolle e altri sintomi quali ammorbidimento dell'emulsione e sbiadimento dei colori. Anche in questo caso il rilascio di acidi liberi, oltre a deteriorare il supporto ed eventuali materiali a contatto, può, propagandosi nell'ambiente, estendere l'attacco chimico a quanto vi sia contenuto (beni, arredi, attrezzature).

La velocità di decomposizione di nitrati e acetati è fortemente influenzata sia dalle condizioni ambientali di conservazione, in particolare dai valori elevati di temperatura e umidità relativa, sia dalla quantità di materiale depositato all'interno dei contenitori e dalla possibilità che hanno i vapori di fuoriuscire. È stato, infatti, osservato che il deterioramento più rapido e completo avviene in presenza di masse consistenti, come nel caso di pellicole avvolte all'interno di scatole metalliche chiuse ermeticamente, mentre i negativi di piccolo formato immagazzinati in contenitori che favoriscono un'adeguata circolazione d'aria si conservano in buone condizioni[10].

Le pellicole in nitrato e acetato, che ancora non manifestano segni di deterioramento, dovrebbero essere individuate e conservate separatamente dagli altri materiali fotografici: l'isolamento permette sia di salvaguardare il resto delle collezioni, sia di consentire una maggiore frequenza di controlli.

Per i supporti in fase di deterioramento è fondamentale attuare una "conservazione segregata" (prassi per cui ogni tipologia di materiale richiede una archiviazione separata anche in base allo stato di conservazione), modalità organizzativa che impedisce ai prodotti derivanti dalla decomposizione di entrare in contatto con altri materiali fotografici[11], per non compromettere il loro stato di conservazione. Come già sottolineato (vedi § 11.3), per le pellicole è sconsigliabile una conservazione in contenitori ermetici (figg. 12.1–12.3), inoltre nei locali di alloggiamento risulta idoneo effettuare una aerazione controllata per allontanare i pericolosi gas emessi.

Le pellicole in rullo devono essere avvolte in modo da assicurare una sufficiente circolazione d'aria allentando la tensione degli avvolgimenti e inoltre





Fig. 12.1

Contenitore a rullo in materiale plastico della Kodak per pellicole aerofotografiche (a sn)

Fig. 12.2

Contenitore a rullo in metallo della Ferrania per pellicole aerofotografiche (a dx)



Fig. 12.3

Contenitore metallico per microfilm in acetato di cellulosa dell'Agfa Gevaert. Visibile la scritta *safety film*

conviene inserire una sottile striscia di carta permanente con riserva alcalina tra le spirali.

Risulta poi opportuno rimuovere i contenitori originali e conservare i rullini in scatole di cartone idoneo e rigido, singolarmente oppure separati da divisori. Il locale di conservazione deve essere ben ventilato, con UR non troppo alta e bassa T (anche <0°C), sia per rallentare al massimo la cinetica di decomposizione della pellicola, sia per compensare il calore di reazione. Sebbene l'uso di contenitori con riserva alcalina (testati PAT) sia altamente consigliato, tale misura preventiva potrebbe non essere sufficiente, infatti è stato evidenziato[12] che parte dell'acido acetico liberato può rimanere adsorbito sulla carta senza che questa abbia consumato tutta la sua riserva alcalina, rimanendo pertanto attivo. Se l'acidità libera raggiunge il valore di 0,5 (espresso in ml di NaOH 0,1M/grammo di pellicola), il processo di decomposizione (deacetilazione) catalizzato dagli acidi subisce un'improvvisa accelerazione (autocatalisi)[13], portando rapidamente alla completa distruzione del bene. Condizioni di immagazzinamento adeguate dovrebbero scongiurare il raggiungimento di questo punto di "non ritorno" e rappresentare un successo della conservazione preventiva. In figura 12.4[14] viene mostrato come l'acidità si accumuli nel supporto. In pratica l'acido acetico, sottoprodotto della deacetilazione, catalizza ulteriormente la degradazione del polimero.

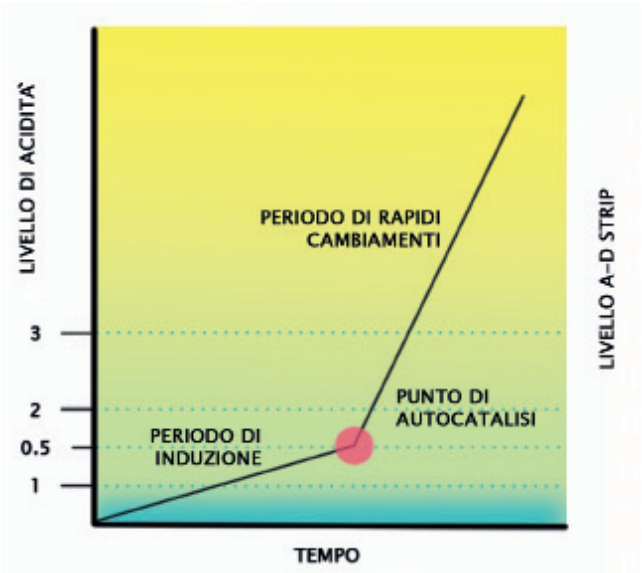


Fig. 12.4

Sindrome acetica. Il punto di autocatalisi avviene a circa 0,5 di acidità libera. L'andamento di questa curva descrive come inizialmente l'acidità risulta quasi inesistente, poi si accumula per lungo tempo (periodo di induzione). A un certo momento (punto di autocatalisi) il livello di acido acetico aumenta improvvisamente e in breve tempo ne vengono prodotte grandi quantità (periodo di rapidi cambiamenti). Nella figura viene anche indicato per confronto il livello di colore/valore assunto, rilevabile con le A-D Strips (vedi fig. 12.14)

Gli acetati di cellulosa hanno trovato largo impiego come pellicole piane, a rullo, cinematografiche, radiografiche e microfilm all'incirca fino alla fine della seconda guerra mondiale. Nel 1955 è iniziata la produzione del poliestere, una nuova pellicola di origine completamente sintetica costituita da tereftalato di polietilene (PET), la cui stabilità[15] è di molto superiore rispetto a quella degli acetati e del nitrato. Anche il PET non è completamente esente da possibile deterioramento, infatti, essendo soggetto a fotossidazione, termossidazione e idrolisi, con il tempo può manifestare diminuzione della viscosità e della resistenza alla trazione; teme, pertanto, ambien-

ti eccessivamente umidi, temperature alte ed esposizione a radiazioni ma, se idoneamente conservato, ha un'aspettativa di vita di diverse centinaia di anni.

Per i microfilm di sicurezza[16] con emulsione argento-gelatina e supporto in poliestere, che possono subire danni meccanici dovuti alla tensione o a fenomeni di adesione tra gli strati se conservati strettamente avvolti su se stessi, si utilizzano rocchetti in materiali resistenti alla corrosione, con caratteristiche di non infiammabilità, stabilità e inerzia chimica. Per bloccare la pellicola sono consigliati "collari" (il collare deve essere in contatto solo con l'ultima spira della parte terminale priva di fotogrammi – coda della pellicola) in cartoncino di cellulosa bianchita e priva di lignina, con pH tra 7,0–9,5 e riserva alcalina del 2% in carbonato di calcio, collatura neutra o alcalina e assenza di particelle metalliche, plastificanti, zolfo e coloranti. La pellicola, avvolta sul rocchetto e fermata con il collare, rivolgendo il lato emulsione all'interno, deve essere inserita in contenitori di cartoncino con le stesse caratteristiche[17].

Una delle problematiche più frequenti relative ai materiali fotografici su supporto plastico è il loro riconoscimento. Molte informazioni possono essere desunte dalle eventuali dentellature presenti, generalmente V (nitrato) e U (acetato) (figg. 12.5–12.8) che possono rappresentare elementi utili. Anche le scritte impresse sui bordi (*safety* – acetato, *nitrate* – nitrato, *estar* o *cronar* – poliestere) o semplicemente la marca, sono in grado di fornire indicazioni (vedi Kodak, Professional Photoguide, 1981). A questo proposito si segnala anche lo studio di Carter *et al.* (2020)[18] che utilizza la spettroscopia FTIR-ATR combinata ad analisi statistica multivariata per una rapida identificazione. Ugualmente gli eventuali sintomi di una degradazione chimico-fisica in atto si rivelano in genere di grande utilità (aspetto fisico – figg. 12.9–12.13 – e percezione di sostanze volatili) ai fini dell'individuazione del tipo di supporto. In merito al nitrato si deve considerare che per circa venti anni la produzione è andata di pari passo con quella dell'acetato; pur non essendo stato più prodotto dal 1951 le scorte sono arrivate fino agli anni Sessanta ed è probabile altresì che negativi in nitrato siano stati fabbricati nell'Europa dell'Est sino a questo periodo[19].

Kodak Film Name and Type	Sheet Film Code or Roll Film Sizes Available	Film Speeds	
		Daylight	Tungsten and Photolamp
Continuous Tone Films			
Recording 2475	135-36	1000-3200[1]	1000-3200[1]
Royal-X Pan	120	1250	1250
Royal-X Pan 4166	[redacted]	1250	1250
Royal Pan 4141	[redacted]	400	400
Tri-X Pan	126-12, 135-20, 135-36, 120, 620, 127	400	400
Tri-X Pan Professional	120, 220, 523 packs	320	320
Tri-X Pan Professional 4164	[redacted]	320	320
Tri-X Ortho 4163	[redacted]	320	200
Super-XX Pan 4142	[redacted]	200	200
Plus-X Pan	135-20, 135-36	125	125
Plus-X Pan Professional	120, 220, 523 packs	125	125
Plus-X Pan Professional 2147	Long rolls	125	125
Plus-X Pan Professional 4147	[redacted]	125	125
Plus-X Portrait 5068	Long rolls	125	125
Verichrome Pan	110-12, 126-12, standard roll sizes	125	125
Ektapan 4162	[redacted]	100	100
Commercial 6127	[redacted]	50	8
Commercial 4127	[redacted]	50	8
Panatomic-X	135-20, 135-36	32	32
Panatomic-X Professional	120		

Fig. 12.5

Sheet Film Code della Kodak. I *notch codes* sono piccole perforazioni posizionate sul margine destro della parte in alto delle pellicole piane. Impresse dalle case produttrici servivano ad identificarne il tipo e a individuare il lato emulsionato



Fig. 12.6

Dentellature (*notch codes*), sul margine destro in alto di due pellicole piane. Questi codici sono mutati nel tempo a seconda del produttore, del procedimento e del formato

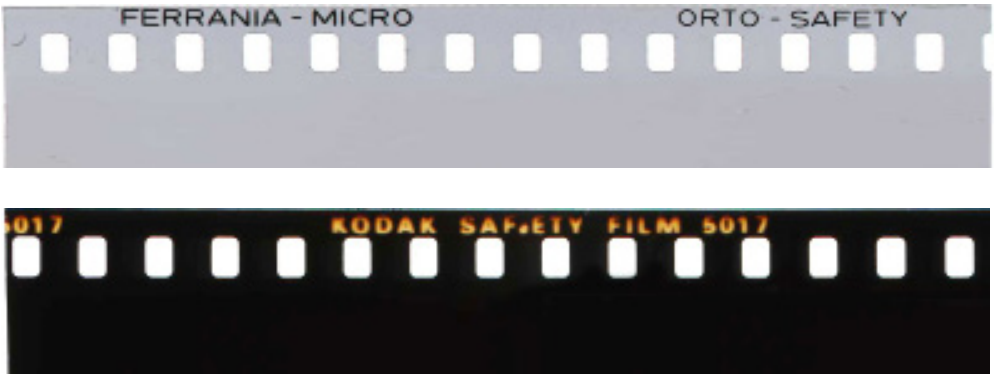


Fig. 12.7

Marchi di case produttrici impressi su pellicola b/n della Ferrania-Micro Orto-Safety e a colori della Kodak Safety Film 5017



Fig. 12.8

Marchi di case produttrici impressi su pellicole b/n e colori: Agfa Isopan F in nitrato (degli anni Quaranta), Fuji RTPII, Ilford Dia 100, Kodak 5018 Epy



Fig. 12.9

Pellicola in acetato con deformazioni tipiche da degradazione dovuta a sindrome acetica



Fig. 12.10

Deformazioni accentuate tipiche di pellicole in acetato (conservate in involucri di carta tipo *pergamin*) che presentano la degradazione da sindrome acetica



Fig. 12.11

Pellicole in nitrato di cellulosa, anni Quaranta, degradate. Il supporto presenta infragilimenti che hanno determinato la rottura del materiale plastico (a questo stadio è percepibile l'odore tipico somigliante all'aroma emanato dalla pianta di liquirizia, n.d.r.)



Fig. 12.12

Pellicola in nitrato di cellulosa, anni Quaranta, con tipica degradazione che si manifesta con una colorazione giallo-bruna e con macchie di varia intensità (l'immagine a sinistra mostra la pellicola fotografata in luce trasmessa mentre quella a destra mostra la stessa pellicola fotografata in luce riflessa)

Fig. 12.13

Particolare di pellicola in nitrato di cellulosa, anni Quaranta, in evidente stato di degradazione (in basso)

L'aspetto della degradazione si rivela dunque un segnale importante per il riconoscimento del supporto. Per i nitrati nella prima fase della decomposizione non si percepisce alcun odore particolare, solo l'aspetto della pellicola inizia a modificarsi con la comparsa di leggeri cambiamenti della tonalità dell'immagine; questo livello è comune oramai a una buona parte di tali supporti. Seguono poi deformazioni della pellicola, sbiadimenti, comparsa di colorazioni dal giallo al marrone, percezione dell'odore di acido nitrico (simile a quello della liquirizia) e collosità; man mano che procede la decomposizione si manifestano infragilimenti uniti a deformazioni fino al completo deterioramento in una massa polverosa brunastra, fase altamente pericolosa. Negli stadi di avanzata decomposizione, in cui la percezione dell'odore di acido nitrico è accentuata, deve essere prestata la massima attenzione nella manipolazione e nel trasporto (che richiede contenitori ignifughi e climatizzazione).

La Kodak descrive 5 livelli di deterioramento per il nitrato, nella tabella 12.1 sono però evidenziate le indicazioni relative ai vari stadi suggeriti nel "Plan nitrate" dell'Atelier de Restauration et de Conservation des Photographies de la Ville de Paris (ARCP)[20], perché maggiormente identificabili.

Tabella 12.1 – Gradi di urgenza per azioni mirate (interventi e precauzioni) in base ai vari livelli di degradazione del nitrato di cellulosa.

LIVELLO DI DEGRADAZIONE	STATO DI CONSERVAZIONE DELLA PELLICOLA	INTERVENTI DA ATTUARE	PRECAUZIONI PER OPERATORI
1	**Aspetto**: leggero imbrunimento e leggera deformazione. **Percezione olfattiva**: nessuna.	Duplicazione. Ispezioni nel tempo.	Consigliabile l'uso di DPI: guanti di nitrile o neoprene*) e DPI/APVR per le vie respiratorie (FFA** – maschere facciali filtranti specifiche per vapori organici).
2	**Aspetto**: deformazione del supporto, colorazione giallo-brunastra, degradazione dell'emulsione. **Percezione olfattiva**: possibile inizio di percezione dell'acido nitrico.	Estrazione dal contenitore originale. Isolamento. Urgenza nella duplicazione. Ispezioni nel tempo.	Consigliabile l'uso di DPI come per livello 1. Non indossare lenti a contatto. Ricambi d'aria nel locale dove avviene la manipolazione. Limitare il tempo di esposizione***.
3	**Aspetto**: decomposizione con ammorbidimento dell'emulsione e possibile formazione di bolle, deformazioni accentuate del supporto. **Percezione olfattiva**: percezione di un odore acre e pungente.	Duplicazione ancora possibile; i difetti nella planarità del supporto possono rendere tale intervento difficoltoso. Isolamento. La manipolazione risulta difficile. Ispezioni ravvicinate.	Necessità di DPI come per livello 1. Non indossare lenti a contatto. Ricambi d'aria nel locale dove avviene la manipolazione. Ridurre al minimo il tempo di esposizione***.
4	**Aspetto**: parziale o completa decomposizione in una massa informe giallastra, fino a degenerare in una polverosa e bruna. Perdita totale dell'immagine. **Percezione olfattiva**: percezione marcata dell'odore di acido nitrico.	La manipolazione risulta impossibile. Immediata eliminazione delle pellicole per prevenire rischi gravi al resto della collezione. Possibile il pericolo di ignizione spontanea (dai 41°C ma per materiali molto degradati anche a 40°C) in concomitanza con il forte confinamento del locale.	Necessità di DPI come per livello 1. Non indossare lenti a contatto. Ricambi d'aria nel locale dove avviene la manipolazione. Ridurre al minimo il tempo di esposizione***.

* Nella manipolazione del nitrato, rilasciante sostanze tossiche e nocive anche per contatto, può essere usato il nitrile (NBR – *Nitrile Butadiene Rubber*) o il neoprene (denominazione commerciale di gomme sintetiche basate sul policloroprene – forma polimerica del cloroprene), materiali più resistenti rispetto al vinile (PVC – cloruro di polivinile). Il lattice di origine naturale estratto dall'albero della gomma – *Hevea brasiliensis*, per le possibili reazioni allergiche (problema sanitario emergente) è sconsigliabile. Tutti i guanti devono essere privi di talco al loro interno (eventuale utilizzo di amido vegetale in polvere biocompatibile).
** Le FFA, secondo la UNI EN 405:2009 "Dispositivi di protezione delle vie respiratorie – Semimaschere filtranti antigas o antigas e antipolvere dotate di valvole – Requisiti, prove, marcatura", sono semimaschere filtranti antigas o antigas e antipolvere dotate di valvole. Le FFP, invece, semimaschere facciali filtranti antipolvere, secondo la UNI EN 149:2009 "Dispositivi di protezione delle vie respiratorie – Semimaschere filtranti antipolvere – Requisiti, prove, marcatura", non sono adatte a qualsiasi grado di deterioramento. La norma europea sui respiratori per polveri senza manutenzione (definisce le specifiche richieste per i DPI) dimostra la conformità dei DPI ai requisiti essenziali di sicurezza riportati nella Direttiva europea 89/686/CEE.
*** Per il fastidio derivante dalla maschera.

I primi diacetati, prodotti dagli inizi degli anni Venti, possedevano ancora nel multistrato della pellicola, il nitrato, con conseguenze per la sicurezza e difficoltà di identificazione prevedibili. I triacetati, prodotti dal 1948, sono tuttora utilizzati nel cinema e per i formati amatoriali. Ai fini del riconoscimento di questi materiali occorre una caratterizzazione con indagini appropriate quali la tecnica FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Per quanto riguarda le pellicole in poliestere prodotte dal 1960, stabili ma rigide e utilizzate soprattutto per pellicole piane, possono essere riconosciute con una osservazione attraverso due filtri polarizzatori.

Il test alla difenilammina (CAS 122-39-4) allo 0,5% in acido solforico, purtroppo microdistruttivo, riesce a dare una prima indicazione per i nitrati, che manifestano una colorazione blu-nera intensa. Si deve però prestare attenzione ai falsi positivi; i supporti in acetato (la difenilammina non reagisce con acetato e poliestere) che contengono un substrato in nitrato, con la funzione di assicurare l'adesione dell'immagine al supporto, sviluppano un colore blu chiaro portando a un risultato fuorviante (a tal proposito si può ovviare tentando di asportare per abrasione lo strato di gelatina). I test di flottazione in tricloroetilene (CAS 79-01-6 – cancerogeno per via cutanea e inalatoria), per acetati, nitrato e poliestere, che comportano un prelievo seppur minimo di materiale (l'acetato galleggia, il nitrato va a fondo e il poliestere si mantiene in posizione intermedia) e il test di combustione in base alla luminosità e al colore della fiamma per la verifica del nitrato (comporta l'emissione di sostanze nocive e risulta estremamente pericoloso per i rischi di incendio), sono relativamente attendibili (vedi note sui test identificativi del National Park Service 14/9. 1999 e del Canadian Conservation Institute 17/2. 1994).

Per la determinazione del livello di acidità degli acetati di cellulosa, oltre alle tecniche analitiche definite dalla normativa[21], che prevedono un prelievo abbastanza consistente di campione, si può ottenere un dato indicativo e rapido dello stadio di avanzamento della reazione di idrolisi utilizzando i rilevatori passivi di acidità. Sono stati sviluppati, nel tempo, diversi strumenti diagnostici che impiegano come indicatore acido-base il verde di bromocresolo, in grado di rivelare la presenza di acido acetico volatile all'interno dei contenitori di pellicole. Tra i rivelatori passivi più largamente diffusi si segnalano il M-Check o Film Decay Detector Sensor® (FDD)[22], il Dancan's Dancheck® messo a punto dal Dancan International Sales di Copenhagen, le A-D (Acid Detection) Strips sviluppate dall'Image Permanence Institute di Rochester (NY)[23]. Nei primi due tipi l'indicatore è disperso in gel di silice, nel terzo è supportato da carta da filtro. Una ricerca effettuata su FDD e Dancan[24] ha evidenziato alcuni svantaggi: tempi di risposta variabili e influenzati da temperatura e umidità relativa, sensibilità agli inquinanti atmosferici e alla luce, non eccessiva precisione e soggettività nella valutazione della colorazione con la conseguenza di fornire falsi risultati se non utilizzati correttamente. Come vantaggi invece si riportano: la facilità d'uso, la non distruttività delle misurazioni, la praticità per una valutazione rapida e quantomeno indicativa dello stato di conservazione delle pellicole.

Le A-D Strips, strisce di carta da filtro impregnata con il verde di bromocresolo, nell'intervallo di pH tra 5,4 e 3,8, in presenza di vapori acidi, cambiano colore dal blu originale attraverso varie sfumature di verde fino al giallo. Una striscia viene posta all'interno del contenitore a contatto con la pellicola per almeno 24 ore (il tempo aumenta se l'umidità e/o la temperatura sono molto basse). Il colore assunto dalla striscia confrontato con una carta di riferimento standard, tarata su 5 livelli di acidità (compreso il livello 0 – assenza di degra-

dazione), consente di stabilire la presenza di acido acetico libero, indicativo dello stato di conservazione. Le A-D Strips si sono dimostrate utili per valutare anche la qualità dell'aria negli spazi di conservazione (vedi § 6.6).

In figura 12.14[25] viene mostrato uno schema raffigurante la correlazione tra colore/valore assunto dalle A-D Strips, grado di deterioramento della pellicola corrispondente, livello di acidità della stessa e interventi raccomandati.

Fig. 12.14

Lettura del livello di acidità (indice della velocità di degradazione dell'acetato)[26]

A–D STRIPS	STATO DI CONSERVAZIONE DELLA PELLICOLA	INTERVENTI DA ATTUARE	ACIDITÀ DELLA PELLICOLA (espressa in ml di NaOH 0,1M/g di pellicola)
Livello 0	Buono – assenza di degradazione (si inizia a percepire l'odore di acido acetico).	Ambiente fresco/ freddo.	0–0,1
Livello 1	Discreto – inizio degradazione (si accentua la percezione dell'acido acetico).	Ambiente freddo. Controlli frequenti.	0,2 ca.
Livello 1–2	Inizio rapida degradazione – punto di autocatalisi (inizia la deformazione della pellicola).	Ambiente freddo. Congelamento.	0,5
Livello 2	Degradazione in atto – deformazioni e infragilimenti della pellicola (si iniziano a formare sulla superficie depositi dovuti al deterioramento del plastificante).	Opportuna duplicazione. Congelamento.	1 ca.
Livello 3	Critico – degradazione avanzata (aumento delle deformazioni, ulteriore infragilimento).	Duplicazione. Congelamento immediato.	2 ca.

12.2 Archiviazione per materiali instabili

Studi sul deterioramento delle immagini e sulla decomposizione dei supporti in acetato e nitrato hanno evidenziato che la degradazione procede non solo quando le condizioni conservative sono sfavorevoli ma anche a temperatura ambiente quando l'umidità relativa è mantenuta costante al 50%[27]. L'Image Permanence Institute, leader mondiale in materia di ricerca e sviluppo di tecnologie per la conservazione del patrimonio fotografico, ha messo a punto, per pellicole nuove e parzialmente degradate, lo "Storage Guide for Acetate film"[28] e un manuale di rapida consultazione l'"IPI Media Storage Quick Reference"[29]. Si tratta di due utili e pratici strumenti che, tenendo conto delle strette correlazioni tra parametri termoigrometrici e "aspettative di vita", ottenute sulla base di estrapolazioni da trattamenti di invecchiamento artificiale, danno indicazioni sulla durata prevedibile di pellicole conservate a varie combinazioni di temperatura e umidità relativa e assegnano le condizioni di archiviazione più idonee ai vari tipi di supporti, differenziando tra materiali in buone condizioni e materiali degradati (vedi § 4.5).

Per "aspettativa di vita" si intende il tempo stimato in cui l'informazione rimane accessibile (conservazione del materiale al buio a una temperatura di 23°C e a un'umidità relativa del 50%). Viene indicata con la sigla LE (*Life Expectancy*) seguita dal numero di anni di permanenza previsti (es. LE-100)[30].

Nella tabella 12.2[31] sono riportate le aspettative di vita, in anni, di pellicole in acetato nuove e parzialmente degradate conservate in diverse condizioni ambientali.

Le previsioni di durata dei materiali vengono ottenute in laboratorio sottoponendo campioni di sacrificio a trattamenti di invecchiamento artificiale. I metodi comunemente più diffusi sono quelli che espongono i provini ad alte temperature (in genere entro i 105°C) accompagnate o meno da altre condizioni sperimentali (specifici valori di UR%, irraggiamento UV/Vis, inquinanti atmosferici ecc.) per un periodo limitato, allo scopo di simulare, in tempi relativamente ristretti, l'invecchiamento naturale di originali di analoga composizione. Attraverso la misurazione della variazione delle proprietà chimiche, fisiche (meccaniche) del materiale sottoposto al test, si segue la degradazione conseguente a tale trattamento.

Tabella 12.2 – Aspettative di vita (in anni) stimate per pellicole di acetato nuove e deteriorate in ambienti di conservazione predefiniti.

AMBIENTE	T (°C)	UR (%)	LE PELLICOLE NUOVE (ANNI)	LE PELLICOLE PARZIALMENTE DETERIORATE (ANNI)
Temperatura ambiente	21	50	40	5
Fresco	18	35	90	15
Fresco	13	30	200	40
Freddo	4	30	800	130
Freddo	−4	30	1.500	400
Congelato	−18	30	1.500	400

La valutazione della permanenza, e cioè la proprietà di un materiale di rimanere chimicamente e fisicamente stabile per lunghi periodi di tempo, mantenendo immutate le sue caratteristiche senza un deterioramento significativo in normali condizioni di conservazione e di uso, viene elaborata in termini di velocità di degradazione a temperatura ambiente applicando l'equazione di Arrhenius (vedi § 4.1). Riportando su piano cartesiano le velocità riscontrate a diverse temperature, la proiezione a temperatura ambiente fornisce un'indicazione della permanenza o, volendo, dell'aspettativa di vita del materiale[32]. La validità della previsione dipende da molti fattori tra cui le condizioni sperimentali scelte per l'invecchiamento e la composizione dei campioni e a volte i risultati ottenuti potrebbero essere fuorvianti. Questo approccio, infatti, è valido nel caso in cui la degradazione ad alte temperature avvenga con lo stesso meccanismo con cui si verifica a temperatura ambiente[33], cosa non sempre certa in quanto condizioni artificiali possono dare origine a reazioni che nelle ordinarie condizioni ambientali non si verificherebbero, oppure non contemplano alcuni fattori come inquinamento e/o fluttuazioni di temperatura e umidità, altamente probabili in situazioni reali.

Nel caso delle fotografie i test dovrebbero essere eseguiti a temperature tali da non modificare le proprietà fisiche come ad esempio le temperature di transizione vetrosa – Tg (indica la temperatura al di sopra della quale un materiale amorfo vetroso inizia a trasformarsi in materiale flaccido e gommoso) dei polimeri interessati (gelatina, nitrato, esteri di cellulosa, poliestere ecc.)[34]. Per questi motivi, sulle previsioni di durata persistono a tutt'oggi dubbi nella comunità scientifica e molti studi sono ancora in corso[35]. Nonostante le perplessità, l'invecchiamento artificiale è una metodica sperimentale comunemente e ampiamente utilizzata non solo per valutare la qualità e la permanenza dei materiali, ma anche per studiare gli effetti e l'efficacia a lungo termine di prodotti e trattamenti per il restauro e la conservazione del patrimonio artistico, archivistico e librario. Per quanto riguarda le fotografie, la metodologia sperimentale per le previsioni di vita applicando la legge di Arrhenius è descritta nella norma ISO 18924 del 2013[36].

In ogni caso è stato accertato da studi e verifiche effettuati in oltre un trentennio, che l'archiviazione a bassa temperatura e a bassa umidità ha un effetto positivo sulla durata dei materiali fotografici a colori[37] e sulla stabilità delle pellicole in triacetato[38]. Un'interessante positiva verifica del valore delle previsioni elaborate sulla base di invecchiamenti artificiali, viene da uno studio di Bigourdan (2006)[39] effettuato su campioni di pellicola di triacetato predegradati fino al primo stadio della sindrome dell'aceto e lasciati invecchiare naturalmente. Dopo oltre 10 anni di conservazione a −16°C, non sono state osservate variazioni nell'acidità libera, mentre i dati ricavati dai campioni tenuti a 21°C e al 50% di UR indicano che l'acidità già nel giro di 5 anni è come minimo raddoppiata.

Anche le pellicole al nitrato beneficiano notevolmente dei bassi valori di temperatura e umidità relativa; per una sufficiente garanzia di lunga durata Adelstein (2002)[40] raccomanda per i nitrati, il cui livello di acidità non superi il valore di 0,08 (espresso in ml di NaOH 0,1M/grammo di pellicola), un'archiviazione a 2°C/30% UR[41] oppure a −10°C/50% UR, condizioni di conservazione che assicurano un'aspettativa di vita di almeno 500 anni. Suggerisce di adottare limiti ancor più drastici per i nitrati maggiormente degradati (−5°C/30% UR oppure −16°C/50% UR). La norma ISO 18934:2011[42] indica un *range* di temperatura di 0°C–8°C±2°C e un *range* di umidità relativa di 30–50%±5%.

Quando non sia possibile archiviare a basse temperature si può tentare di ottenere un rallentamento della velocità della degradazione diminuendo l'umidità relativa, tenendo però presente che valori di UR inferiori al 25% possono provocare la delaminazione della gelatina[43] a causa delle tensioni meccaniche che si creano tra supporto ed emulsione per l'eccessivo essiccamento dello strato immagine. Allo stato attuale delle conoscenze, si può affermare che l'archiviazione a bassa e ancor più a bassissima temperatura rallenta, fino quasi a bloccarli, i processi di decomposizione, aumentando l'aspettativa di vita prevista di alcune centinaia di anni, mentre con il solo abbassamento dell'umidità relativa l'incremento sarebbe limitato a qualche decennio[44].

Ugualmente le immagini a colori, siano esse stampe, negativi, diapositive e soprattutto alcuni prodotti fotografici fabbricati prima del 1984 e fino al 1992 (tabella 12.3[45]), particolarmente soggetti a sbiadimenti, dovrebbero essere conservati in ambiente freddo o meglio congelato. La loro scarsa stabilità rappresenta, infatti, un grave problema per la conservazione della gran parte della produzione fotografica del Novecento. Nelle fotografie a colori, la velocità del deterioramento cambia a seconda del tipo di materiale e tra i

singoli strati di colore. La degradazione, che si manifesta sotto varie forme (formazione di macchie, variazioni di densità, cambiamenti e viraggi di colore) (fig. 12.15), è il risultato di complesse reazioni chimiche che sono accelerate da valori alti di temperatura e umidità relativa e prosegue, in alcuni casi, anche se il materiale è conservato al buio (*dark fading*[46] – vedi § 5.3).

Atresì la permanenza di tali supporti è notevolmente avvantaggiata da archiviazione a basse temperature sempre che, ovviamente, si eserciti uno stretto controllo dell'umidità relativa che deve mantenersi entro valori di sicurezza (25–50%). Da specificare comunque che la conservazione al freddo prolungherà in generale la vita di molti altri materiali come le stampe *inkjet* o le stampe *resin-coated.*

Tabella 12.3 – Materiali fotografici a colori particolarmente instabili da conservarsi al freddo.

NEGATIVI	Ektacolor precedenti il 1984. Vericolor. Kodacolor X e Kodacolor II. Fujicolor e Fujicolor HR precedenti il 1986. Konica Color SR precedenti il 1987. Agfacolor XR e XRS precedenti il 1989 e il più antico Agfa Gevaert. 3M Scotch Color precedenti il 1992.
STAMPE	Ektacolor (37 RC e 74 RC) precedenti il 1984. Fujicolor precedenti il 1984. Agfacolor precedenti il 1984. Konica Kolor precedenti il 1984. Ektachrome precedenti il 1991, Ektachrome prestige e Ektachrome HC.
DIAPOSITIVE	Ektachrome process E-1, E-2, E-3, E-4. Ansco. GAF. Agfachrome precedenti il 1989. 3M Scotch.

Le basse (0–8°C) o bassissime temperature (inferiori a 0°C), indicate dalle norme internazionali e/o attuate in molti depositi, rappresentano una maggiore chance di conservazione a lungo termine e non creano problemi alle pellicole fotografiche e alle emulsioni; non vi è, infatti, pericolo di deformazioni meccaniche, shock termici o formazione di cristalli di ghiaccio entro i valori di umidità relativa suggeriti per i vari tipi di procedimenti[47].



Fig. 12.15

Diapositiva a sviluppo cromogeno degli anni Novanta. Visibile il decadimento del colorante e le tipiche *redox blemishes*, macchie causate dall'ossidazione dell'argento presente nell'emulsione

Tabella 12.4 – Valori termoigrometrici consigliati per la conservazione a lungo termine di pellicole b/n e colore e stampe a colori (cfr. tabb. 4.6 e 4.7).

MATERIALE FOTOGRAFICO	T (°C max)	INTERVALLI UR (%)		FONTE BIBLIOGRAFICA
Stampe a colori a sviluppo cromogeno	2 −3 −10	30–50 20–40 20–50		ISO 18920:2011, ISO 18911:2010***[48].
Stampe digitali (derivanti da vari processi)	2* 5*	30–50** 30–40**		ISO 18920:2011.
Pellicole b/n di esteri di cellulosa	7* 5* 2*	20–30** 20–40** 20–50**		ISO 18911:2010.
Pellicole a colori (cromogeniche) di esteri di cellulosa	−3* −10*	20–40** 20–50**		ISO 18911:2010.
Pellicole di poliestere diazo	2*	20–30**		ISO 18911:2010.
Fotografie a colori	2 −10	20–30 20–50		National Park Service – Washington D.C. – (1999)[49].
Pellicole a colori	−1÷0	25–35		Home Box Office – HBO (NY), Tadic (2001)[50].
Pellicole b/n	−3÷10	25–35		
Pellicole di nitrato di cellulosa a colori	−10 2	50 30	Film con acidità <0,08	Danish Film Institute (Copenhagen), Adelstein (2002)[51].
	−16 −5	50 30	Film con acidità >0,08	
	−4÷4 −18	20–30 25–35		National Park Service – Washington D.C. – (1999).
Pellicole di nitrato di cellulosa b/n	2	20-30		ISO 10356:1996****.

* Max fluttuazione giornaliera ±2.
** Max fluttuazione giornaliera ±5.
*** Conservazione a lungo termine: condizioni adatte alla conservazione che possono prolungare la durata fino a 500 anni.
**** La norma sottolinea il carattere non lineare della degradazione del nitrato di cellulosa: anche se può sembrare in buono stato il suo deterioramento può avvenire in pochi mesi.

Nella tabella 12.4 sono raccolti i valori termoigrometrici indicati in letteratura (comprese le raccomandazioni di riferimento delle attuali normative rivolte alla conservazione di stampe fotografiche e pellicole: ISO 10356:1996, ISO 18920:2011, ISO 18911:2010) e praticati da varie istituzioni in tutto il mondo, per materiali instabili nei confronti dei quali è raccomandata l'archiviazione a basse temperature.

Molte esperienze di conservazione in ambiente freddo realizzate oltreoceano sono state raccolte e descritte per l'AIC (American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works)[52], per la Biblioteca di Stato del Queensland a Kurilpa Point in Australia, per i Queensland State Archives[53] e per gli Archivi di Vancouver in Canada[54], solo per citarne alcune.

Depositi freddi a umidità controllata per pellicole a colori, stampe e pellicole cinematografiche sono piuttosto diffusi nel territorio americano e in alcune istituzioni giapponesi tra cui il National Museum of Modern Art di Tokyo, come esposto anche nei dettagli tecnici da Wilhelm in "The Perma-

nence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides and Motion Pictures" del 1993. Sono state descritte altresì esperienze europee come quella della Norwegian National Library di Oslo, Rana Branch[55] (NBR), e dell'Atelier de Restauration et de Conservation des Photographies (ARCP) di Parigi[56].

Dai dati riportati si evidenzia che per i materiali fotografici instabili:

- l'immagazzinamento al freddo è considerato uno standard di conservazione a livello internazionale ed è, infatti, ormai certo che i maggiori benefici rispetto all'aspettativa di vita si ottengono a basse temperature;
- i valori di UR devono essere mantenuti a livelli medio-bassi;
- è possibile modulare l'UR rispetto alla temperatura, in linea di massima umidità più elevate (fino al 50%) possono essere praticate abbassando la temperatura di archiviazione e viceversa;
- la scelta delle condizioni da adottare dipenderà dallo stato di conservazione delle collezioni, dalle esigenze conservative (breve, medio o lungo termine), dalle risorse finanziarie e tecnologiche;
- nel caso in cui non fosse possibile disporre di un ambiente freddo o congelato, i locali di conservazione dei materiali instabili (soprattutto nitrati e acetati) dovranno essere ben ventilati, freschi e asciutti. Inoltre è importante evitare accuratamente l'uso di contenitori sigillati e impermeabili, affinché i vapori possano fuoriuscire ed essere allontanati.

La conservazione in ambiente freddo comporta implicazioni abbastanza complesse: innanzitutto si deve provvedere alla duplicazione o alla digitalizzazione degli originali, la cui consultazione dovrà necessariamente essere molto ridotta pena la perdita dei benefici di maggior durata dei materiali. Sarà fondamentale poi tenere conto dei rischi insiti nel controllo del tasso di umidità relativa legato alle basse temperature, alle caratteristiche degli apparati tecnici e tecnologici e al tipo di involucri. Il contenimento dell'umidità relativa entro valori medio-bassi, nell'immagazzinamento a basse temperature, è fattore altamente critico in quanto anche piccoli scostamenti dai parametri predefiniti (ad esempio interruzioni di corrente, malfunzionamenti degli impianti, apertura prolungata delle porte) possono originare rialzi improvvisi di umidità relativa con conseguente formazione di condensa sulle superfici delle opere. Inoltre, come già illustrato nel Capitolo 4, pellicole, gelatina, carta e altri materiali organici a parità di UR trattengono più acqua a basse temperature che a temperatura ambiente; un contenuto di acqua troppo elevato potrebbe provocare adesioni e deterioramento delle immagini[57]. Ulteriori accorgimenti sono necessari nel trasferimento del materiale conservato a basse temperature in ambiente più caldo, per il rischio di shock termico con possibili danni da formazione di condensa e da umidità[58].

Per grandi quantità di materiali instabili le soluzioni disponibili per la conservazione a bassa temperatura sono le celle frigorifere e le camere climatizzate. Nelle prime, è regolabile la sola temperatura, quindi, si deve prevedere l'impiego di sistemi passivi per il contenimento e la stabilizzazione dell'umidità relativa, nelle seconde, gli impianti di trattamento dell'aria provvedono simultaneamente alla regolazione dei parametri termoigrometrici, alla filtrazione, alla ventilazione, al ricircolo e ai periodici rinnovi.

Nel momento in cui si rivelasse necessario conservare separatamente o in segregazione quantità limitate di materiali instabili, ad esempio piccole raccol-

te o parti di collezioni, o quando le risorse economiche non consentissero la realizzazione di installazioni grandi o complesse, si potrebbe ricorrere all'uso di refrigeratori o congelatori di tipo industriale o domestico, purché rispondenti a determinati requisiti.

12.3 Dispositivi di raffreddamento: il microambiente

In commercio esistono varie tipologie di frigoriferi, i più comuni sono quelli cosiddetti "statici" al cui interno la diffusione del freddo avviene in modo naturale. Ai fini conservativi queste apparecchiature presentano problematiche che ne limitano l'uso. L'umidità relativa di norma si attesta a livelli piuttosto alti, il vapore acqueo si accumula e condensa sotto forma di ghiaccio e/o acqua (secondo la temperatura) sulle serpentine di raffreddamento poste all'interno dei comparti di conservazione. Altro inconveniente è la non uniformità di temperatura interna, le sezioni in basso infatti sono solitamente più fredde di quelle alte; nei frigoriferi a sistema "dinamico" o ventilato invece la circolazione dell'aria fredda, garantita dall'apposita ventola, elimina le difformità di temperatura fra i vari livelli della cella, consentendone un'uniforme distribuzione. Il freddo però non è secco e il comparto congelatore necessita di sbrinatura periodica.

Una diversa tecnologia caratterizza i frigoriferi o congelatori *frost-free* (senza brina), il cui sistema di raffreddamento comprende una ventola che mette in movimento l'aria all'interno e una piastra evaporante che ha il compito di separare dall'aria l'umidità. Quest'ultima viene scaricata in un apposito vassoio di raccolta esterno ai comparti di conservazione, annullando così la formazione di brina. Il vantaggio di questi frigoriferi/congelatori è che l'umidità si mantiene entro limiti medio bassi (intorno al 30–50%) e che nei comparti freezer i materiali contenuti non aderiscono l'uno all'altro. Tuttavia il funzionamento continuo del frigorifero viene interrotto ciclicamente e per breve tempo (ogni 9–12 h), al fine di consentire il drenaggio automatico del ghiaccio che si forma nel vassoio. Durante tale periodo all'interno della cella frigorifera si verificano un aumento di temperatura e di umidità relativa che può raggiungere anche il 100%[59] risultando pericolosamente problematico per la conservazione dei materiali fotografici. Su questo tipo di apparecchi frigoriferi si è focalizzata l'attenzione di ricercatori e conservatori che hanno studiato e messo a punto varie metodiche di confezionamento, descritte di seguito, adeguate alla conservazione di quantitativi limitati di materiali fotografici instabili.

Esperienze sulla pratica e sui principi d'uso di congelatori *no frost* per la conservazione di pellicole e stampe a colori e in b/n sono descritte da Wilhelm (1993).

Per scongiurare il raggiungimento di condizioni critiche all'interno dei refrigeratori o negli scomparti freezer (per pellicole parzialmente o fortemente deteriorate), sono stati studiati sistemi di confezionamento sigillato, allo scopo di creare intorno al materiale fotografico da conservare, una sorta di microambiente stabile svincolato dal tasso e dalle variazioni di umidità relativa del comparto esterno.

Il primo metodo in ordine di tempo, messo a punto per il Swedish Film Institute, è il "Film Institute Conditioning Apparatus" (FICA)[60], nato come metodo per l'impacchettamento di pellicole a rullo e cinematografiche, poi adattato anche alla sigillatura di pellicole piane e stampe[61]; tale sistema prevede

la chiusura ermetica del materiale fotografico all'interno di involucri saldati sottovuoto che fungono da barriera al vapore. Per il confezionamento si utilizza uno speciale composito costituito da uno strato di carta esterno, tre o più strati di polietilene termosaldabile all'interno, con interposto un foglio di alluminio. I materiali fotografici prima dell'inserimento negli involucri devono essere precondizionati a bassa umidità relativa per assicurare loro una maggiore stabilità. L. Pavão[62] consiglia di interfogliare le immagini con "carta per la conservazione".

Le principali considerazioni sul metodo possono riassumersi nei seguenti punti:

- i costi sono elevati in quanto gli involucri una volta aperti non sono riutilizzabili;
- sussiste l'impossibilità di effettuare ispezioni o monitoraggi all'interno delle buste senza aprirle;
- in presenza di minuscoli difetti nella termosaldatura o di microperforazioni dovute a parti spigolose o taglienti, l'umidità penetrerebbe con devastanti conseguenze;
- il precondizionamento, necessario ogni volta che si apre il "pacchetto", ritarda di fatto il rientro in ambiente freddo dei materiali prelevati. Tale periodo trascorso a temperatura ambiente può rappresentare un rischio, soprattutto per pellicole deteriorate, e può essere compensato solo da un lungo stazionamento al freddo senza ulteriori aperture[63], il che si traduce in una forte limitazione all'accesso dei documenti.

Un secondo sistema di impacchettamento, sviluppato nel 1994 da McCormick-Goodhart per la Smithsonian Institution (Washington D.C.), è il "Critical Moisture Indicator" (CMI)[64]. Il metodo prevede l'uso di involucri in polietilene a bassa densità (LDPE) riutilizzabili ed elimina la necessità di precondizionare il materiale, se questo, a temperatura ambiente, è in equilibrio con un'umidità relativa che non superi il 60%. Le fotografie, divise in gruppi non troppo consistenti, vengono chiuse all'interno di una prima busta di polietilene con chiusura ermetica a pressione tipo Ziploc®. Questa busta viene inserita in un'altra, dello stesso tipo, insieme a materiale che funga da tampone umidostatico (gel di silice o cartone conservazione a quattro strati) e ad un indicatore di umidità (sale di cobalto impregnato su carta) precedentemente essiccato; la busta esterna viene a sua volta chiusa ermeticamente e introdotta nel refrigeratore o nel freezer. Il sistema, diversamente dal precedente, non è impermeabile e il principio su cui si fonda è la lenta velocità di diffusione del vapore acqueo in ambiente freddo o sotto zero; la protezione contro l'umidità è esplicata passivamente dal materiale tampone che deve essere sostituito quando si verifica un innalzamento dell'umidità relativa all'interno del microambiente, rivelato dal cambiamento di colore dei sali di cobalto dal blu al violaceo indicando il raggiungimento del 60% di UR e la necessità di ricondizionamento. Data la loro nocività per la salute umana, i sali di cobalto sono da evitare, al loro posto possono essere utilizzati altri tipi di indicatori ugualmente reversibili ma innocui.

Il metodo presenta il vantaggio dell'economicità in quanto tutti i materiali impiegati possono essere riutilizzati e rigenerati (i cartoni e gli indicatori vengono essiccati in stufa) e consente di monitorare l'andamento del clima all'interno dei singoli involucri, inoltre McCormick-Goodhart assicura che il "pacchetto CMI" rimane efficiente per 15 o 20 anni in un freezer tradizionale

prima di perdere la propria efficacia.

Successivi studi e prove, condotti sull'efficacia dei microambienti e sulle possibilità di miglioramento delle prestazioni dei sistemi di impacchettamento (per il contenimento dell'umidità e per il controllo del deterioramento delle pellicole di acetato all'interno dei sistemi chiusi), hanno portato alle seguenti conclusioni[65]: i sistemi che utilizzano involucri impermeabili al vapore acqueo possono essere migliorati pre-condizionando il materiale fotografico a circa 50% di UR, oppure, per esercitare un controllo passivo dell'umidità relativa all'interno degli involucri, vi potrà essere inserito gel di silice precondizionato al 30–50% (a seconda della temperatura scelta per la conservazione). Per i supporti in acetato si possono introdurre nell'involucro protettivo setacci molecolari costituiti da zeoliti (alluminiosilicati di sodio – vedi § 11.4) nella proporzione del 5% in peso, i quali, oltre a fungere da tamponi umido-statici, sono in grado di adsorbire selettivamente i vapori di acido acetico[66]. Tali adsorbitori devono essere periodicamente sostituiti (ogni due anni a temperatura ambiente, ogni 10–15 anni in condizioni di freddo)[67] e non possono essere riutilizzati.

Nei sistemi di confezionamento illustrati, il controllo dell'umidità relativa microambientale avviene all'interno dei contenitori a spese del materiale tampone e non delle opere conservate, ciò evita che quest'ultime vengano esposte ai tassi di UR prossimi al 100% presenti nei frigoriferi e nei congelatori statici e che si manifestano negli apparecchi *frost-free* durante i cicli di riscaldamento per la rimozione del ghiaccio. La protezione si esplica anche nelle situazioni in cui viene raggiunto il punto di rugiada, ad esempio quando i "pacchetti" vengono estratti dal freddo e portati a temperatura ambiente, oppure in caso di guasti nei refrigeratori: la condensa che si formerà sulla superficie fredda degli involucri non bagnerà e quindi non danneggerà i materiali fotografici alloggiati al loro interno.

Se si sceglie di adottare come ambiente freddo un frigorifero o un congelatore, è assolutamente irrinunciabile che i parametri termoigrometrici interni vengano costantemente monitorati sia prima dell'immissione degli originali, per assicurarsi che il complesso frigo-congelatore risulti appropriato, sia dopo, per verificarne il buon funzionamento nel tempo. Gli involucri, chiaramente etichettati, non dovrebbero contenere molto materiale, è inoltre opportuno predisporre una mappa topografica delle collocazioni all'interno; questi accorgimenti renderanno più semplice la ricerca, consentiranno prelievi mirati evitando inutili e dannose manipolazioni/movimentazioni e limiteranno l'apertura delle porte al tempo indispensabile al solo prelievo con una minimale perturbazione. Una volta presi, gli involucri non potranno essere aperti immediatamente, l'estrazione andrà effettuata dopo un sufficiente tempo di adattamento, che dipenderà ovviamente dalla differenza di temperatura tra l'ambiente di provenienza e quello di destinazione, ma anche dalla massa di materiale inserito all'interno delle buste. Ad esempio pellicole piane o stampe conservate singolarmente o a piccoli gruppi si acclimatano in meno tempo rispetto a pellicole cinematografiche strettamente avvolte su se stesse. In letteratura il tempo consigliato va da qualche decina di minuti a qualche ora, per prudenza non risulta opportuno aprire gli involucri prima di 8–10 h. In ogni caso bisognerà attendere almeno che la temperatura del materiale superi quella del punto di rugiada dell'umidità contenuta nell'ambiente di destinazione.

Per l'archiviazione in sicurezza e segregata di pellicole in nitrato di cellulosa, altamente combustibili, esistono in commercio speciali frigoriferi e con-

gelatori antideflagranti[68] di varie capacità con caratteristiche di sicurezza tali da escludere ogni possibile fonte di scintille o di archi voltaici per scongiurare l'accensione di vapori provenienti dalla decomposizione dei nitrati. Questi apparecchi possono inoltre essere equipaggiati con termostati di sicurezza, sistemi di registrazione, sensori e dispositivi d'allarme in grado di segnalare eventuali guasti o superamenti di soglie termiche.

12.4 Celle climatizzate e celle refrigerate/congelate: il macroambiente

Per la conservazione in ambiente freddo o congelato di grandi quantità di materiale instabile, la soluzione più idonea ai fini dell'ottenimento di un clima ottimale e controllato è l'allestimento di camere climatizzate. Tali ambienti altamente tecnologici sono realizzati generalmente all'interno di locali preesistenti, perimetrati da pannelli modulari ad alto isolamento per azzerare gli scambi termici con l'ambiente circostante e serviti da impianti di trattamento aria posti esternamente. Un adeguato impianto di ventilazione e un numero congruo di ricambi (almeno 4 o 5 al giorno) renderanno omogenea la distribuzione dell'aria all'interno e provvederanno all'allontanamento di eventuali prodotti di degradazione minimizzando i rischi di contaminazione. L'aria in entrata attraversa filtri ad alta efficienza (filtri HEPA – vedi § 7.5) che provvedono alla rimozione di polveri, gas, particolato, inquinanti ecc. Ogni camera dovrà essere dotata di impianto di rilevazione antincendio ed eventualmente, in considerazione della qualità e della quantità di materiale contenuto all'interno, anche di impianto di spegnimento automatico, secondo le normative vigenti.

Rispetto ai microambienti, i macroambienti garantiscono un controllo più efficiente del clima e anche risultati migliori a lungo termine dal punto di vista conservativo[69], con costi però decisamente più elevati. La loro installazione richiede infatti maggiori investimenti iniziali per la progettazione e la costruzione, in seguito, a regime, oltre ai non trascurabili consumi energetici, vanno considerate le spese per periodiche manutenzioni ed eventuali interventi straordinari. I costi aumentano qualora, come sarebbe auspicabile, si installino macchinari ridondanti, come deumidificatori e unità refrigeranti, in grado di supplire in caso di avarie agli impianti primari. Prima dell'uso le camere devono essere sottoposte a collaudo e ad un congruo periodo di prova, con monitoraggi continui, soprattutto quando sono destinate a lavorare in condizioni estreme. Le dimensioni delle celle dovrebbero essere commisurate alla quantità e all'ingombro del materiale da conservare, un eccessivo sovradimensionamento richiederebbe sistemi di regolazione molto potenti e conseguente aumento dei costi di esercizio. Esse possono essere attrezzate con scaffalature di tipo aperto, cassettiere e altri arredi. Non occorrerà utilizzare speciali contenitori sigillati, né particolari accorgimenti per la preparazione degli involucri, riducendo quindi la manipolazione degli originali, che, protetti in alloggiamenti permeabili, si metteranno in equilibrio nell'ambiente reso climaticamente stabile.

Le celle climatizzate, come tutti gli ambienti di conservazione, dovranno essere fornite di allarmi per segnalare eventuali anomalie di funzionamento e sistemi di rilevazione dei parametri ambientali: lettura e scarico dei dati dovranno essere effettuabili dall'esterno. Il prelievo dei materiali da queste apparecchiature a clima controllato a temperatura bassa o sottozero do-

vrà essere preceduto da un periodo di acclimatazione verso la temperatura esterna. In mancanza di protezioni impermeabili sulla superficie delle opere si verificherebbe la condensazione dell'umidità atmosferica, è pertanto indispensabile disporre di una camera di adattamento termico, annessa alla cella di conservazione, ma da essa isolata e dotata di sistema autonomo di regolazione della temperatura, in cui trasferire il materiale per portarlo gradualmente in equilibrio con la temperatura esterna. Studi sui tempi di acclimatazione di pellicole fotografiche e cinematografiche hanno evidenziato che l'equilibrio termico viene raggiunto abbastanza rapidamente, con tempi dipendenti fondamentalmente dalla quantità di materiale racchiuso e dalle caratteristiche materiche e costruttive dei contenitori (ad esempio un rullo cinematografico 35 mm lungo 300 m chiuso in scatola metallica, nel passaggio da −16 a +21°C raggiunge il 90% dell'equilibrio termico in circa 4 ore, nel momento in cui è contenuto in una scatola di plastica impiega circa 3 h, se la lunghezza del rullo si riduce di 1/5 i tempi si dimezzano)[70]. Molto più lento è il raggiungimento dell'equilibrio igrometrico che può richiedere anche diverse settimane.

Una soluzione alternativa alle celle climatizzate, realizzabile con un discreto risparmio nei costi di costruzione e di esercizio, è stata studiata, sperimentata e proposta da McCormick-Goodart e Wilhelm (2004)[71]. Il sistema di conservazione, dagli stessi autori denominato "Sealed Cabinet Method", utilizza celle refrigerate/congelate del tipo normalmente impiegato per la conservazione di prodotti alimentari, pertanto prive di impianti per la regolazione dell'umidità relativa, allestite con armadi e/o cassettiere di metallo perfettamente sigillati al cui interno viene distribuito abbondante materiale tampone.

In pratica essi propongono, su larga scala, un metodo analogo a quello microambientale ove al posto di piccoli involucri si utilizzano gli arredi stessi come sub-ambienti in cui conseguire il controllo passivo dell'umidità relativa. L'intero sistema è stato adattato allo specifico scopo conservativo, apportando alcune modifiche all'impiantistica delle celle, migliorando i livelli di tenuta delle aperture verso l'esterno e potenziando con migliori guarnizioni la chiusura ermetica degli arredi. I ripiani e, in parte, le pareti degli armadi vengono rivestiti da cartone per la conservazione a quattro strati che funge da materiale tampone; anche le scatole e gli involucri igroscopici che custodiscono le opere conservate negli armadi sigillati contribuiscono all'effetto tampone (può anche essere utilizzato in aggiunta del *silicagel*). Il monitoraggio permanente dei parametri termoigrometrici sia nella cella refrigerata/congelata sia all'interno dei singoli armadi viene eseguito con datalogger. Il trasferimento dei materiali dalla cella sotto zero a temperatura ambiente viene effettuato mediante un contenitore termico portatile nel quale vengono alloggiati, con i loro involucri e scatole, fino alla completa acclimatazione termica che può essere seguita tramite termometro senza fili con sensore remoto da porre all'interno del contenitore termico. Le opere singole anche di grande formato possono essere introdotte in buste di polietilene barriera ben sigillate da aprire dopo il superamento del gradiente di temperatura.

Gli Autori assicurano che tale sistema funziona egregiamente da diversi anni senza guasti e che l'umidità relativa all'interno degli armadi sigillati non ha mai superato il 31±1% ad una temperatura di −20°C.

Una camera-congelatore concepita e realizzata col sistema degli "armadi sigillati" è stata installata presso gli archivi di Vancouver[72] per depositarvi due importanti fondi di fotografi professionisti dal grande valore documentario che testimoniavano la loro carriera svolta in cinque decenni: il fondo

Williams Brothers Photographers Ltd. acquisito nel 1987 e il Jack Lindsay Ltd. Photographers acquisito nel 1993, composti da circa 200.000 fotografie di nitrato e acetato in stato di avanzato deterioramento. Il metodo, giudicato facile e pratico, esige poca manutenzione e permette inoltre, rispetto al sistema microambientale CMI (applicato con successo da Sue Bigelow presso gli Archives de la ville de Vancouver e da Betty Walsh presso i Royal Archives of British Columbia), un efficiente utilizzo degli spazi e non richiede lunghi tempi di lavorazione per la preparazione degli involucri.

In conclusione, sebbene sia ormai accertato che la conservazione in ambiente freddo migliori la permanenza dei materiali instabili, bisogna tener presente che impiantare un archivio freddo è una scelta piuttosto impegnativa anche dal punto di vista della sostenibilità ambientale (vedi § 1.6). È necessario valutare con estrema attenzione i reali mezzi che potranno essere messi a disposizione sia per quanto riguarda i costi di installazione e di esercizio sia in termini di risorse umane, infatti l'archiviazione a bassa temperatura implica una continua e duratura attenzione di personale dedicato alla conservazione. Se nell'ambiente freddo l'umidità non viene tenuta costantemente sotto controllo, se si verifica un guasto o una mancanza di rete, le conseguenze possono essere devastanti per il patrimonio ivi conservato e pertanto si deve contare sulla presenza di uno staff preparato in grado di agire prontamente in modo corretto.

Nonostante le esperienze di conservazione al freddo siano ormai consolidate per fotografie prive di montature, allo stato attuale, non è possibile conoscere e prevedere gli effetti che potrebbe avere una tale archiviazione sui montaggi compositi costituiti da materiali diversi come ad esempio gli album[73].

Giova anche definire i limiti legati alla consultazione dei materiali così condizionati, è evidente che non conviene conservare in depositi freddi o sotto zero o all'interno di involucri impermeabili, documenti frequentemente movimentati: l'archiviazione al freddo non solo non sortirà alcun beneficio per le opere, al contrario potrà rivelarsi addirittura controproducente a causa delle continue sollecitazioni termiche e igrometriche a cui sarebbero sottoposte. In questi casi risulta molto utile provvedere alla duplicazione delle immagini su supporti stabili da conservare a temperatura ambiente, accordando il prelievo degli originali dall'ambiente freddo o congelato solo eccezionalmente.

Note alle immagini

Figg. 12.1 e 12.2 riprese fotografiche dell'autore (Archivio curatore).

Fig. 12.6, 12.7, 12.8, 12.9, 12.10, 12.11, 12.12, 12.13 e 12.5 riprese fotografiche di Donatella Matè.

Fig. 12.4 disegno modificato da Roberto Bianchi, vedi: J. Reilly, *IPI Storage Guide for Acetate Film*, Rochester, New York, 1993, da: https://s3.cad.rit.edu/ipi-assets/publications/acetate_guide.pdf (consultato il 30/03/2021).

Fig. 12.5 schema tratto da: Eastman Kodak Company, *KODAK Professional Photoguide*, Rochester, New York, 1981.

Fig. 12.14 schema modificato e tradotto da: RIT, Image Permanence Institute, *Using A-D Strips*, 2020.

I materiali fotografici rappresentati nelle immagini appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] L. Residori, *Fotografie. Materiali Fotografici, Processi e Tecniche, Degradazione, Analisi e Diagnosi,* Collana I Talenti, Padova, il prato, 2009.

[2] G.T. Eaton, *Conservation of Photographs*, Kodak Publication, no F-40, Rochester, New York, Eastman Kodak Company, 1985.

[3] *Ibid.*; L. Residori, *Il deterioramento dei materiali fotografici: aspetti chimico-fisici*, in *Chimica e Biologia Applicate alla Conservazione degli Archivi*, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione Generale degli Archivi, Roma, 2002, pp. 349–351.

[4] A. Louvet, B. Lavédrine, F. Flieder, *Size exclusion chromatography and mass spectrometry of photographic bases in cellulose nitrate degradation*, in *The Journal of Photographic Science,* 43, 1995, pp. 30-35.

[5] NPS – National Park Service, *Appendix M: Management of Cellulose Nitrate and Cellulose Ester Film*, Part I, Washington D.C. Film, Museum Handbook, 1999, da: http://www.nps.gov/museum/publications/MHI/AppendM.pdf (consultato il 16/06/2022).

[6] S. Marroni, *Ancora un incendio a "Cinecittà" distrutti nel rogo settanta vecchi film*, 1987, da: http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/1987/07/18/ancora-un-incendio-cinecitta-distrutti-nel.html (consultato il 15/06/2022).

[7] ISO 10356:1996, *Cinematography – Storage and Handling of nitrate-base motion-picture films* (reviewed and confirmed in 2018), Ginevra, International Organization for Standardization, 1996: NFPA 232, *Standard for the Protection of Records,* National Fire Protection Association, current edition 2017; NFPA 90A, *Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems*, National Fire Protection Association, current edition 2018; NFPA 40, *Standard for the Storage and Handling of Cellulose Nitrate Film* National Fire Protection Association current edition 2019.

[8] T. Vitale, *History, Science and Storage of Cellulose Acetate Film Base*, v16, 2009, pp. 1–15, da: https://cool.culturalheritage.org/videopreservation/library/history_science_storage_of_acetate_base_film_16b.pdf (consultato il 16/06/2022).

[9] L. Residori 2009, *op. cit*.

[10] G.T. Eaton 1985, *op. cit*.

[11] E.P. Adcock, *Principi dell'IFLA per la Cura e il Trattamento dei Materiali di Biblioteca*, con la collaborazione di Marie-Thèrése Varlamoff e Virginie Krempf, Edizione italiana a cura della Commissione nazionale Biblioteche e servizi nazionali, Roma, AIB, 2005.

[12] J.-L. Bigourdan, P.Z. Adelstein, J.M. Reilly, *Effect of paper alkaline reserve on the chemical stability of acetate base sheet film,* in *Topics in Photographic Preservation*, 7, 1997, pp. 43–54.

[13] L. Residori 2009, *op. cit*.

[14] J. Reilly, *IPI Storage Guide for Acetate Film*, Rochester, New York, Image Permanence Institute, 1993, da: https://s3.cad.rit.edu/ipi-assets/publications/acetate_guide.pdf (consultato il 16/06/2022).

[15] B. Lavédrine, *A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2003.

[16] D. Matè, L. Residori, *La conservazione delle fotografie*, in *Chimica e Biologia Applicate alla Conservazione degli Archivi,* Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione Generale degli Archivi, Roma, 2002, pp. 475–487.

[17] D. Matè, L. Residori, *Il deterioramento e la conservazione delle fotografie*, in *Memoria e Futuro dei Documenti su Carta. Preservare per Conservare*, Udine, Forum, 2002.

[18] Eastman Kodak Company, *Kodak, Professional Photoguide*, 1st Edition, Rochester, New York, 1981; E.A. Carter, B. Swarbrick, T.M. Harrison, L. Ronai, *Rapid identification of cellulose nitrate and cellulose acetate film in historic photograph collections*, in *Heritage Science*, 8, 51, 2020, DOI:10.1186/s40494-020-00395-y.

[19] F. Ploye, *Les négatives photographiques en nitrate de cellulose: Le "plan nitrate" de la Ville de Paris*, in *Support/Tracé*, 5, 2005, pp. 22–36.

[20] *Ibid.*

[21] PIMA IT9.11-1997, *American National Standard for Imaging Media – Processed Safety Photographic Films – Storage* (revision and redesignation of ANSI IT9.11-1993).

[22] M.C. Fischer, J.M. Reilly, *Use of passive monitors in film collections*, in *Topics in Photographic Preservation*, 6, 1995, pp. 11–40.

[23] J.-L. Bigourdan, J.M. Reilly, *Preservation strategy for acetate film collections based on environmental assessment and condition survey*, in *Care of Photographic Moving Image & Sound Collections*, 20th–24th July 1998, Conference papers S. Clark (ed.), York, England, Institute of Paper Conservation, 1999, pp. 28–36.

[24] M.C. Fischer, J.M. Reilly 1995, *op. cit.*

[25] RIT, Image Permanence Institute, *Using A-D Strips*, 2021, da: https://www.filmcare.org/ad_strips (consultato il 22/06/2022).

[26] J.-L. Bigourdan, *Preservation of acetate base motion-picture film: from stability studies to film preservation in practice*, in *The Vinegar Syndrome: Prevention, Remedies and the Use of New Technologies. An Handbook*, Bologna, The GammaGroup, 2000, pp. 11–44.

[27] P.Z. Adelstein, J.M. Reilly, D.W. Nishimura, *Recent changes in recommended storage of photographic film*, in *Environnement et Conservation de l'Ecrit de l'Image et du Son*, Actes des deuxièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, 1994, pp. 109–113.

[28] J. Reilly 1993, *op. cit.*

[29] P.Z. Adelstein, *IPI Media Storage Quick Reference*, 2nd ed., Image Permanence Institute, 2009, pp. 1–9.

[30] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*

[31] P. Adcock 2004, *op. cit.*

[32] P.Z. Adelstein, *Optimizing nitrate film storage,* in *Preserve Then Show*, Copenhagen, Danish Film Institute, 2002.

[33] P.Z. Adelstein, J.-L. Bigourdan, J.M. Reilly, *Moisture relationships of photographic film*, in *Journal of the American Institute for Conservation*, 36, 3, 1997, pp. 193–206.

[34] B. Lavédrine 2003, *op. cit.*; ISO 18934:2011, *Imaging materials – Multiple media archives – Storage environment* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization.

[35] M. Plossi Zappalà, *Il ruolo della ricerca scientifica nella conservazione e nel restauro del libro e del documento*, in *Libri e Documenti. Le Scienze per la Conservazione ed il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Biblioteca Statale Isontina, Gorizia, Edizioni della Laguna, 2007, pp. 620–624; P. Calvini, *La degradazione della carta nell'era del computer*, in *Libri e Documenti. Le scienze per la Conservazione ed il Restauro*, M. Plossi, A. Zappalà (eds.), Biblioteca Statale Isontina, Gorizia, Edizioni della Laguna, 2007, pp. 655–665.

[36] ISO 18924:2013, *Imaging materials – Test method for Arrhenius-type predictions (*reviewed and confirmed in 2018), Ginevra, International Organization for Standardization, 2013.

[37] P.Z. Adelstein, C.L. Graham, L.E. West, *Preservation of motion picture color film having permanent value*, in *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers*, 79, 1970, pp. 1011–1018.

[38] P.Z. Adelstein, J.M. Reilly, D.W. Nishimura, C.J. Erbland, *Stability of cellulose ester base photographic film*, *Part. I, Laboratory testing procedures*, in *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers*, 101, 1992, pp. 336–346.

[39] J.-L Bigourdan, *Stability of acetate film base: accelerated-aging data revisited*, in *The Journal of Imaging Science and Technology*, 50, 5, 2006, pp. 494–501.

[40] P.Z. Adelstein 2002, *op. cit.*

[41] ISO 10356:1996, *op. cit.*

[42] ISO 18934:2011, *op. cit.*

[43] J.M. Reilly 1993, *op. cit.*

[44] T. Vitale, *Cold Storage of Cultural Artifacts*, v16©,

2009, da: https://cool.culturalheritage.org/videopreservation/library/cold_storage_v17j.pdf (consultato il 16/06/2022).

[45] H. Wilhelm, *The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides and Motion Pictures*, Preservation Publishing Co., Grinnel, Iowa, 1993, pp. 687–724; D. Vogt-O'Connor, *Caring For Color Photographs*, in *Conserve O Gram*, National Park Service – NPS, Washington D.C., 14/6, 1998, pp. 1–4, da: http://www.nps.gov/museum/publications/conserveogram/14-06.pdf (consultato il 16/06/2022); S. Berselli, L. Gasparini, *L'archivio Fotografico, Manuale per la Conservazione e la Gestione della Fotografia Antica e Moderna*, Bologna, Zanichelli, 2000; National Park Service – NPS, *Caring for Cellulose Nitrate Film,* in *Conserve O Gram,* Washington D.C., 14/8, 2004, pp. 1–4, da: https://www.nps.gov/museum/publications/conserveogram/14-08.pdf (consultato il 16/06/2022).

[46] Eastman Kodak Company 1985, *op. cit*.

[47] D.F. Kopperl, C.C. Bard, *Freeze/thaw cycling of processed motion-picture films*, in *Journal of the SMPTE*, 94, 8, 1985, pp. 826–827, DOI: 10.5594/J03399.

[48] ISO 18920:2011, *Imaging materials – Reflection prints – Storage practices* (reviewed and confirmed in 2021), Ginevra, International Organization for Standardization, 2011; ISO 18911:2010, *Imaging materials – Processed Safety Photographic Films – Storage practices* (reviewed in 2020), Ginevra, International Organization for Standardization, 2010.

[49] D. Vogt-O'Connor 1998, *op. cit*.

[50] L. Tadic, *Recommended Conservation Practices for Archival Audiovisual Materials Held in General Special Collections*, March 2001, pp. 1–11.

[51] P.Z. Adelstein 2002, *op. cit*.

[52] L.A. Daffner, *Survey of cool and cold storage facilities for fine art photograph collections*, in *Topics in Photographic Preservation*, 10, 2003, pp. 151–161.

[53] L. Egunnike, *A cool change: cold storage at the state library of Queensland,* in *International Preservation News*, 24, 2001, pp. 26–28.

[54] S. Bigelow, *Entreposage à froid des photographies aux Archives de la Ville de Vancouver*, Rapport préparé à l'intention du Comité de préservation du Conseil canadien des archives, 2004.

[55] K-E. Antonsen, *Degradation survey programme at the National Library of Norway, Rana Branch*, in *Research Techniques in Photographic Conservation*, Proceedings from the Copenhagen Conference, 14–19 may 1995, 1996, pp. 107–109.

[56] F. Ploye 2005, *op. cit.*

[57] P.Z. Adelstein, J.-L. Bigourdan, J.M. Reilly, *Moisture relationship of photographic film*, in *Journal of American Institute for Conservation*, 36, 3, 1997, pp. 193–206; B. Lavédrine, M. Leroy, M. Gillet, *Stockage des photographies dans un congélateur ménager*, in *Support/Tracé*, 1, 2001, pp. 27–31.

[58] *Ibid.*

[59] P.Z. Adelstein *et al.* 1997, *op. cit.*

[60] R. Goos, H.E. Bloman, *An inexpensive method for preservation and long-term storage of color film*, in *Journal of SMPTE*, 92, 1983, pp. 1314–1316.

[61] M.H. McCormick-Goodhart, *Methods for creating cold storage environments,* in *Care of photographic moving image & sound collections*, 20th–24th July 1998, Conference papers, S. Clark (ed.), York, England, Institute of Paper Conservation, 1999, pp. 19–24.

[62] L. Pavão, *Conservación de colecciones de fotografia*, in *Cuadernos Técnicos*, Istituto Andaluz del Patrimonio Histórico Centro Andaluz de la Fotografia, 2001, pp. 163–167.

[63] M.H. McCormick-Goodhart 1998, *op. cit*.

[64] *Ibid.*; M.H. McCormick-Goodhart, *On the Cold Storage of Photographic Materials in a Conventional Freezer Using the Critical Moisture Indicator (CMI) Packaging Method*, Smithsonian Institution, luglio 2003, pp. 1–28, da: http://www.wilhelm-research.com/subzero/CMI_Paper_2003_07_31.pdf (consultato il 16/06/2022).

[65] J.-L. Bigourdan, P.Z. Adelstein, J.M. Reilly, *Use of micro-environments for the preservation of cellulose triacetate photographic film*, in *Journal of Imaging Science and Technology*, 42, 2, 1998, pp. 59–66; J.-L. Bigourdan, J.M. Reilly, *Effectiveness of Storage Conditions in Controlling the Vinegar Syndrome: Preservation Strategies for Acetate Base Motion-Picture Film Collections,* Rochester, N.Y., Image Permanence Institute, 2000, pp. 1–25, da: http://dp3project.org/webfm_send/307 (consultato il 22/06/2022); B. Lavédrine *et al*., 2001; National Film Preservation Foundation, *The Film Preservation Guide: The Basic for Archives, Libraries and Museums*, San Francisco, 2004, da: https://www.filmpreservation.org/preservation-basics/the-film-preservation-guide (consultato il 22/06/2022).

[66] B. Keneghan, E. Martin, *The use of molecular sieve for extending the life of cellulose acetate photographic negatives*, in *Care of Photographic Moving Image & Sound Collections*, 20th–24th July 1998, Conference papers S. Clark (ed.), York, England, Institute of Paper Conservation, 1999, pp. 25–27.

[67] J.-L. Bigourdan, *Vinegar Syndrome: An Action Plan*, *The Vinegar Syndrome: A Handbook, Prevention, Remedies and the Use of New Technologies*, Bologna, The GAMMA Group, 2000, pp. 45–59.

[68] H. Wilhelm 1993, *op. cit.*; S. Berselli, L. Gasparini 2000, *op. cit.*

[69] J.-L. Bigourdan, J.M. Reilly 1999, *op. cit.*

[70] J.-L. Bigourdan, J.M. Reilly, *Environment and Enclosures in Film Preservation*, Rochester, Image Permanence Institute, 1997.

[71] M.H. McCormick-Goodhart, H. Wilhelm, *The Design and Operation of a Passive Humidity-Controlled Cold Storage Vault Using Conventional Freezer Technology and Moisture-Sealed Cabinets*, Final Program and Proceedings IS&T Archiving Conference, San Antonio, Texas, U.S.A.,The Society for Imaging Science and Technology, 2004, pp. 176–182, da: http://www.wilhelm-research.com/subzero/WIR_ISTpaper_2004_04_MMG_%201.pdf (consultato il 28/06/2022).

[72] S. Bigelow 2004, *op. cit.*

[73] B. Lavédrine *et al*. 2001, *op. cit.*

13 La gestione del rischio come supporto alla conservazione preventiva

Elena Verticchio, Donatella Matè

La conservazione preventiva ha assunto un ruolo fondamentale nella gestione delle strategie volte a impedire l'espletarsi del danno o alla mitigazione dello stesso. Sebbene in Italia tale disciplina non sia ancora considerata al pari del restauro (ne è un esempio il Concorso M*i*BACT del 2016 per 500 funzionari, che ha precluso la partecipazione ai laureati della classe di laurea LM 11 in "Conservazione e restauro dei beni culturali"), è invece ampiamente riconosciuta come strategia di azione prioritaria nelle istituzioni culturali della maggior parte dei paesi europei e statunitensi e, come tale, sono numerose le posizioni professionali ricercate sotto il profilo del *preventive conservator* e del *conservation scientist*. Nella prospettiva dell'evoluzione delle pratiche di conservazione preventiva in ambito italiano, la gestione del rischio (*Risk Management*) presenta interessanti potenzialità in quanto permette di sviluppare strategie per minimizzare i rischi negli ambienti di conservazione.

La gestione del rischio, incardinata sul concetto di valutazione del rischio (*Risk Assessment*), da alcuni anni si è imposta all'attenzione di chi cura i beni come approccio interdisciplinare per la previsione del rischio conservativo per le collezioni e per lo sviluppo di strategie integrate nel fronteggiarlo. Il processo del *Risk Management*, inteso come l'"insieme di attività, metodologie e risorse coordinate per guidare e tenere sotto controllo un'organizzazione con riferimento ai rischi (che coinvolge, n.d.r.)" (UNI 11230:2007)[1], ebbe origine negli USA intorno alla metà degli anni Cinquanta all'interno del mondo industriale e aziendale. Nell'ambito dei beni culturali, la gestione dei rischi ha per scopo la tutela delle collezioni e si propone di affrontare e di mitigare i possibili rischi che possono intaccarne il valore e la salvaguardia, ivi compresi i processi di deterioramento chimico, fisico e biologico. Scopo ultimo delle pratiche del *Risk Management* è quello di contribuire alla gestione integrata dei molti problemi conservativi, riducendo l'esigenza futura di ricorrere a interventi di restauro indubbiamente più invasivi e onerosi sia in termini economici che di impiego di risorse umane.

In questo capitolo verranno introdotti il concetto di rischio e il profilo storico della sua gestione in ambito internazionale, insieme ai metodi più diffusi per la sua valutazione con una panoramica dei rischi di danno in cui possono incorrere i vari materiali fotografici".

13.1 Profilo storico della gestione del rischio

In generale, il concetto di rischio è legato alla probabilità che possa verificarsi un evento considerato avverso. Lo sviluppo dei primi metodi di gestione del rischio risale agli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso in risposta all'esigenza di affrontare decisioni strategiche di grande impatto sociale e politico nei settori energetico, ambientale e dei trasporti. William W. Lowrance, collaboratore presso le Università di Harvard e di Stanford, nel testo "Of acceptable risk: science and the determination of safety" (1976)[2], definì il rischio come: «*A compound measure of the probability and magnitude of*

adverse effect». La Society for Risk Analysis – SRA, negli Stati Uniti, parla del rischio come: «*The possibility of an unfortunate occurrence*». Nella recente normativa italiana UNI ISO 31000:2018[3] (che sostituisce la precedente versione del 2010), il rischio viene infine definito come: «*The effect of uncertainty on objectives*» e cioè «L'effetto dell'incertezza sugli obiettivi».

L'analisi del rischio, pertanto, implica primariamente l'individuazione dell'insieme dei pericoli e delle azioni possibili per contrastarlo, nonché della "vulnerabilità" del sistema considerato e del "fattore di esposizione" ai pericoli stessi. Una volta calcolati gli indici di rischio, è possibile identificarne la significatività e definire le priorità di intervento, impostando strategie mirate a evitare il rischio (laddove possibile), a ridurne gli effetti negativi e a minimizzarne le conseguenze.

La molteplicità e l'eterogeneità delle diverse tipologie di rischio rende estremamente complesso l'esame globale degli agenti coinvolti e delle loro possibili conseguenze, determinando la necessità di dotarsi di una metodologia strutturata per l'analisi dei costi e dei benefici al fine di poter vagliare in maniera oggettiva le possibili alternative di intervento. La valutazione del rischio permette di identificare le problematiche coinvolte; la definizione della magnitudine dei singoli rischi (nella loro mutua interazione) permette poi di analizzare in maniera più accurata le priorità e di allocare adeguatamente le risorse disponibili al fine di minimizzare il rischio complessivo.

In generale, in quanto processo mediante il quale si misura e si stima il rischio, la gestione del rischio si basa sulla sequenza di operazioni suggerite nella normativa UNI ISO 31000. Questa norma fornisce indicazioni utili su come applicare i principi del *Risk Management* all'interno di un'organizzazione e ne descrive le fasi (fig. 13.1) in cui deve svolgersi, associando a ciascuna i relativi obiettivi.

- Step 1. Definizione del contesto: stabilire gli obiettivi identificando i vari parametri e i criteri e interpretare le informazioni.
- Step 2. Identificazione del rischio: capire come e perché gli eventi (i vari fattori) potrebbero determinare un possibile danno. In questa fase è fondamentale effettuare delle ispezioni dei beni e creare un archivio fotografico di riferimento.
- Step 3. Analisi del rischio: comprendere le cause e le fonti del rischio (a vari livelli di dettaglio) e quindi la natura, determinandone le conseguenze positive e negative e deducendone quindi il livello.
- Step 4. Calcolo (ponderazione) del rischio: confrontare i risultati ottenuti dalle fasi precedenti per determinare se il rischio e/o il danno correlato sia accettabile.
- Step 5. Trattamento del rischio: sviluppare strategie e piani di azione per aumentare i benefici e ridurre i costi agevolando, sulla base degli esiti dell'analisi, i processi decisionali. Il piano deve stabilire l'ordine delle priorità con cui i singoli trattamenti devono essere attuati.

Gli step 2, 3 e 4 costituiscono, nel loro insieme, il processo di valutazione complessivo del rischio (*Risk Assessment*), il quale si conclude con la verifica della compatibilità delle procedure previste nel caso in cui il rischio (evento probabilistico) si concretizzi in un evento negativo (evento certo). La comunicazione e la consultazione sono fasi fondamentali del processo, insieme al monitoraggio e al riesame che dovrebbero essere pianificati e comportare verifiche e ispezioni regolari. Negli step 4 e 5 si devono rivedere la fasi precedenti, valutare la riduzione dei rischi e quelli residui e pianificare le emergenze. In

questo *iter* è importante produrre un'accurata documentazione riportando i dati ricavati, in modo che in qualsiasi momento sia possibile eseguire una controllo e una revisione del rischio. I risultati devono essere, infine, elaborati per ottenere degli indici, il cui quadro totale permetterà di indirizzare eventuali interventi volti alla prevenzione e alla tutela del sistema manufatto-ambiente.

L'approccio sistematico alla gestione dei rischi per i beni culturali è stato recepito soltanto a partire dagli anni Ottanta. In questo campo, ogni decisione influenza il valore che le singole opere o le collezioni nel loro complesso avranno in futuro. Per questa ragione è fondamentale impostare le strategie conservative più adeguate a breve e a lungo termine seguendo un approccio razionale e il più possibile oggettivo. La conservazione preventiva — di cui si rimanda al riferimento in nota per un interessante revisione critica di teorie e approcci sviluppatisi in Europa, Canada e Stati Uniti negli ultimi cinquant'anni (1965–2016) — può impiegare efficacemente i principi di gestione del rischio per svolgere il suo compito di mitigazione del complesso di rischi a carico delle collezioni[4]. Nell'ambito della salvaguardia del patrimonio culturale, il rischio si identifica con l'esistenza di una sorgente di pericolo e con la possibilità che essa si trasformi in un danno per le opere. La metodologia di gestione del rischio messa a punto dall'International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM) e dal Canadian Conservation Institute (CCI), intende il rischio come: «*The chance of something happening that will have a negative impact on our objectives*» e, più specificamente, come «*The possibility of a loss of value to the heritage asset*».

Il *Risk Management* applicato al caso di musei, biblioteche, archivi e istituzioni culturali interviene sulla programmazione che ciascuna struttura dovrebbe impostare per la sicurezza dei beni conservati in termini di adempimenti progettuali e organizzativi e di tutti gli interventi necessari per il perseguimento degli obiettivi prefissati.



Fig. 13.1

Fasi principali del *Risk Management* secondo la normativa UNI ISO 31000:2010 e applicazione ad alcuni concetti e strumenti propri della conservazione preventiva

La pratica di svolgere ispezioni con regolarità si inserisce nel contesto della conservazione preventiva in quanto permette di acquisire informazioni importanti (dati relativi ai beni e valutazione del loro stato conservativo) e di impiegarle per l'elaborazione di progetti di conservazione/restauro e per l'attivazione di piani di manutenzione. Queste informazioni sono fondamentali per stabilire le priorità in termini di tempo e di costi e per valutare quali interventi debbano essere effettuati con maggiore urgenza al fine di ridurre efficacemente il rischio di perdite o danneggiamenti.

Un approccio analitico nella gestione dei rischi conservativi è stato suggerito per la prima volta agli inizi degli anni Ottanta[5] ma è soltanto a partire dalla pubblicazione, nel 2003, della tesi di dottorato di Robert Waller[6], responsabile della conservazione al Canadian Museum of Nature (CMN), di Ottawa, che un vero e proprio modello è stato strutturato per un'applicazione sistematica alla realtà di gestione dei beni culturali. Nel 1998, l'ICCROM, con la pubblicazione del testo "Risk Preparedness: A Management Manual for World Cultural Heritage"[7], già invitava a valutare l'importanza della preparazione al rischio per i beni culturali, considerando che i disastri, di fatto eventi non comuni, costituivano un fenomeno di non grande interesse, anche se in realtà erano responsabili di danni di gran lunga superiori a quelli dovuti a impatti cumulativi quotidiani. Questa spinta seguiva all'avvio dell'International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), del 1990, per la riduzione dei disastri naturali.

I ricercatori che hanno portato avanti pionieristicamente la pratica della gestione del rischio nel campo della conservazione, da Jonathan Ashley-Smith, manager in conservazione, a R. Waller, analista del rischio conservativo, e Stefan Michalski, scienziato conservatore, hanno dimostrato nella pratica l'utilità del processo. J. Ashley-Smith, chimico inglese per molti anni responsabile del Laboratorio di conservazione e restauro del Victoria & Albert Museum di Londra, nel 1999 ha presentato il testo introduttivo "Risk Assessment for Object Conservation"[8] per sensibilizzare alla quantificazione della probabilità di rischio e al modo in cui può essere interpretato in relazione al danno sugli oggetti museali. S. Michalski e R. Waller hanno anche loro prodotto metodi applicabili alle istituzioni culturali per affrontare la gestione del rischio delle collezioni, consentendone un ampio sviluppo. Alcuni metodi risultano maggiormente quantitativi, come il modello di Waller, mentre altri sono stati semplificati per agevolarne l'impiego, come il "modello ABC" di Michalski. L'adozione di questo metodo è attualmente promossa da alcune tra le maggiori istituzioni nel campo della conservazione: l'ICCROM[9], il CCI[10] e i National Archives di Londra (TNA)[11], soltanto per citare alcuni esempi.

Nel nostro Paese, la pratica della gestione del rischio è limitata all'ambito della sicurezza secondo quanto definito nell'Atto di indirizzo (2001)[12], Ambito V – Sicurezza – ove si fa riferimento all'analisi del rischio come all'individuazione di: pericoli (tecnologici), azioni (naturali e antropiche), vulnerabilità, fattori di esposizione a pericoli. Unico ma pregevole esempio in Italia di *Risk Assessment* è rappresentato dalla "Carta del Rischio" (Sistema Informativo Territoriale – SIT) del patrimonio culturale[13], progettata dall'ICR per individuare sistemi e procedimenti che consentano di programmare gli interventi di manutenzione e restauro sui beni culturali architettonici, archeologici e storico-artistici in funzione del loro stato di conservazione e dell'aggressività dell'ambiente in cui sono inseriti (http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/login).

Al livello locale, alcune soprintendenze hanno portato avanti programmi di valutazione dei rischi in ambienti conservativi di archivi e biblioteche, incentrando i piani di azione sulla gestione delle emergenze[14].

13.2 Modelli di gestione del rischio

L'analisi del rischio, fase iniziale di tutti i modelli di gestione del rischio, è basata sull'attribuzione di un punteggio in grado di esprimere, su una scala di riferimento unificata, l'impatto di ciascun agente di rischio e la probabilità che il suo effetto si verifichi.

Genericamente:

$$\text{RISCHIO} = \text{IMPATTO} \times \text{PROBABILITÀ} \qquad (13.1)$$

Ogni rischio è calcolato come il prodotto tra la frequenza con la quale si attende che possa verificarsi (probabilità) e la severità dell'effetto che produrrebbe sulla collezione (impatto).

L'impatto è stimato calcolando la porzione di collezione interessata e la gravità del danno prodotto in termini di perdita di valore. Dal momento che la determinazione della magnitudine effettiva del rischio è associata a un certo grado di incertezza e soggettività, i risultati di questo metodo sono soltanto semi-quantitativi[15]. Tuttavia, la possibilità di comprendere più a fondo la complessità degli elementi di rischio coinvolti permette di confrontare le diverse possibili strategie conservative e di stabilire quale possa risultare più efficace in termini di riduzione del rischio complessivo a carico delle collezioni. Il processo di analisi seguito dovrebbe essere ben documentato, in maniera tale che le argomentazioni e le decisioni prese possano rimanere tracciabili e comprensibili da chi si occuperà delle collezioni in futuro. Il metodo è pensato, infatti, per essere verificato e aggiornato iterativamente nel corso del tempo, favorendo la condivisione e la sinergia di tutte le competenze e professionalità coinvolte.

In generale, il processo di gestione del rischio è articolato come schematizzato di seguito (estratto tradotto da Bülow, 2010)[16].

1. CONTESTUALIZZAZIONE
- Consultazione dirigenti per definire scopi, obiettivi e criteri.
- Raccolta e comprensione delle informazioni rilevanti.
- Costruzione del grafico a torta sulla distribuzione del valore patrimoniale.

2a. IDENTIFICAZIONE RISCHI
- Organizzazione di mezzi e strategie.
- Indagine patrimoniale e documentazione fotografica.
- Identificazione di rischi specifici: definizione e descrizione sintetica.

2b. ANALISI RISCHI
- Quantificazione di ogni rischio specifico.
- Separazione o combinazione di rischi specifici, se necessario.
- Revisione e ridefinizione dell'analisi.

2c. VALUTAZIONE RISCHI
- Confronto di ciascun rischio rispetto agli altri, ai criteri e alle aspettative.
- Analisi di sensibilità nella priorità delle modifiche rispetto all'attribuzione dei pesi-valore.
- Valutazione dell'incertezza, dei limiti e delle possibilità/opportunità.

3. INTERVENTO
- Identificazione delle opzioni di trattamento dei rischi.
- Quantificazione della riduzione del rischio associata a ciascuna opzione.
- Valutazione delle opzioni di intervento.
- Pianificazione e sviluppo delle opzioni selezionate.

Le soluzioni sviluppate attraverso i modelli di *Risk Management* sono necessariamente pragmatiche e mirano a rendere minimo il rischio totale a carico delle collezioni. Queste potenzialità possono essere sfruttate per giudicare complessivamente grandi quantità di informazioni[17] e rappresentano uno strumento efficace anche nella presentazione della gestione delle problematiche conservative a un pubblico di non addetti, aumentando la credibilità delle richieste di finanziamento e dunque la probabilità di ottenere risorse[18]. Questa cornice di azione è aperta, facile da comunicare e aggiornabile al passo con l'evoluzione del settore[19]. Dal punto di vista della gestione delle collezioni, l'approccio al rischio integra gli aspetti della sicurezza con i principi della conservazione preventiva al fine di minimizzare le perdite alle risorse culturali dell'organizzazione.

Il "metodo CPRAM" di Waller e il "modello ABC" di Michalski sono probabilmente gli approcci più noti tra quelli proposti. Entrambi seguono la cornice procedurale standardizzata a livello internazionale nella UNI ISO 31000 e utilizzano lo schema dei 10 agenti di degradazione.

Ashley-Smith ha contribuito alla materia con un volume che affronta la valutazione del rischio da un punto di vista teorico piuttosto che proporre un nuovo modello[20]. Nel corso degli anni questi metodi sono stati oggetto, in ambito internazionale, di numerosi corsi di formazione rivolti ai professionisti della conservazione e applicati in un buon numero di istituzioni del patrimonio culturale.

13.3 Gli agenti di deterioramento

Il rischio è generato dalla possibilità che un agente di deterioramento e il patrimonio culturale (oggetto) interagiscano, determinando una perdita di valore di quest'ultimo.

La classificazione degli agenti di danno è stata proposta da Michalski per suddividere le cause di rischio a carico delle collezioni: nove di essi sono riconducibili a meccanismi di deterioramento di tipo fisico e chimico e uno, l'ultimo a essere introdotto, alla negligenza nell'archiviazione e nella custodia. In realtà alla fine degli anni Ottanta, Michalski aveva già individuato nove agenti di danno (la dissociazione non era compresa). È stato Waller ad aggiungere quest'ultima, intendendo con tale termine la perdita di correlazione tra bene e relative informazioni e la perdita o l'incapacità di accedere ai beni.

Gli agenti di danno quindi, secondo l'ultima classificazione, sono suddivisi in 10 gruppi di appartenenza come mostrato in tabella 13.1[21]: Forze fisiche (usura, abrasioni e danni accidentali); Furto e vandalismo; Fuoco; Acqua; Organismi patogeni; Contaminanti; Radiazioni; Temperatura inadeguata; Umidità relativa inadeguata; Dissociazione (individuabile come perdita di informazione o dell'unità delle serie).

Mentre 9 agenti influiscono sullo stato di conservazione dell'oggetto, la dissociazione, derivante da documentazioni/dati mancanti o da errori de-

terminati dagli operatori durante le varie fasi della tutela, non determina alcun deterioramento sui componenti del bene. Gli eventi e i processi legati al deterioramento possono essere distinti sulla base della frequenza o della velocità con il quale avvengono, suddividendosi in eventi singoli e processi cumulativi. A titolo esemplificativo quindi nella tabella sottostante sono mostrati i rischi più comuni legati agli ambienti conservativi.

Tabella 13.1 – Panoramica dei rischi comuni legati ad ambienti conservativi (estratto tradotto da Brokerhof *et al*., 2017[22]).

AGENTI (cfr. tabella 1.4)	EVENTI	PROCESSI
Forze fisiche	Calamità naturali. Campionamenti per indagini. Catastrofi. Incidenti nel corso di manutenzione, trasporto (caduta) o restauro.	Deposito sovraccarico. Manipolazione. Pulizia continua. Scarsa manutenzione. Supporti inadeguati. Vibrazioni (eventi, trasporto, traffico).
Fuoco	Incendio estensivo o localizzato.	
Acqua	Allagamento. Perdite d'acqua. Rottura di tubature.	Condensa su superfici fredde. Pulizie con solventi acquosi. Risalita capillare.
Criminalità	Atti vandalici. Furti. Mancata riconsegna prestiti.	Sottrazione indebita prolungata di porzioni di materiale.
Piante e parassiti	Insetti. Roditori. Volatili.	Alghe e muschi. Arbusti e alberi (apparati radicali). Piante rampicanti.
Contaminanti	Disastri industriali. Lavori di costruzione/manutenzione. Liquidi corrosivi, cibo, solventi pulizie. Trattamenti di restauro inadeguati.	Attività industriali e agricole. Emissioni acide (materiali da costruzione/allestimenti/contenitori/collezioni). Particolato atmosferico. Traffico.
Luce, ultravioletto, infrarosso	Catalogazione, digitalizzazione e riproduzione.	Illuminazione artificiale. Luce incidente.
Temperatura inadeguata	Malfunzionamento di impianti. Sorgenti di calore temporanee. Trasporto, prestito, consultazione, trattamenti.	Esposizione prolungata ad alte temperature. Fluttuazioni stagionali estreme.
Umidità relativa inadeguata	Malfunzionamento di impianti. Condensazione. Shock meccanico.	Esposizione prolungata ad alti o bassi livelli di umidità relativa. Fluttuazioni stagionali estreme.
Dissociazione (individuabile come perdita di informazione o dell'unità delle serie).	Errata riallocazione degli oggetti. Perdita di dati dai sistemi computerizzati. Perdita della memoria storica.	Scolorimento o distacco delle etichette identificative. Strumenti di archiviazione obsolescenti.

Secondo l'opinione di chi scrive, questa tabella non può essere considerata del tutto esaustiva se applicata al caso degli ambienti di archivi, biblioteche, musei e gallerie. Per quanto riguarda infatti il deterioramento di tipo biologico, non sono menzionati i microrganismi (come funghi e batteri) frequenti vettori di danno prevalente per i materiali organici (ma anche per quelli inorganici).

Può essere utile, a tal proposito, effettuare un confronto tra le tabelle 13.1 e 13.5 e la tabella 1.4. I microrganismi sono stati inclusi nel particolato atmosferico e sono in effetti le spore a essere trasportate dall'aria o da vettori quali l'uomo o gli artropodi; queste strutture riproduttive sono presenti anche nel particolato depositato sulle superfici e come noto in concomitanza di particolari condizioni termoigrometriche possono dare origine a un danno su materiali diversi. Naturalmente uno sviluppo microbico può essere determinato anche dall'ingresso di materiali già contaminati.

Per tale motivo la pratica che dovrebbe essere sempre adottata è quella di confinare i beni in arrivo in un luogo separato (quarantena), per un periodo di tempo definito effettuando accurate ispezioni *in itinere* e in seguito, per individuare eventuali tracce dell'azione da parte di organismi/microrganismi.

13.4 Il "modello CPRAM" di Waller e il "modello ABC" di Michalski

Dagli inizi degli anni Novanta c'è stato un notevole interesse e sviluppo di idee su come, nell'ambito della tutela del patrimonio culturale, si possa trarre vantaggio dall'adottare un modello di valutazione del rischio in grado di rendere più efficace la pratica della conservazione preventiva. Il "modello di Waller" del 2003, il "Cultural Property Risk Analysis Model – CPRAM", sviluppato per il Canadian Museum of Nature, si basa sul calcolo della Magnitudine di Rischio (MR) in funzione della probabilità/frequenza del rischio e della quantità di oggetti coinvolti, in combinazione alla perdita di valore associata a ciascun rischio.

Il primo modello di valutazione del rischio: "CPRAM" Il "metodo CPRAM" è il primo modello a essere stato strutturato sistematicamente per la valutazione e la gestione del rischio nell'ambito dei beni culturali sulla base di una precedente suggestione proposta da Michalski. Si tratta di un processo formale e strutturato per l'identificazione degli agenti di rischio e la determinazione della loro relativa magnitudine allo scopo di stabilire le priorità di intervento nella pratica della conservazione preventiva.

Il rischio viene espresso sotto forma di Magnitudine del Rischio (MR), definita come la perdita di valore prevista in conseguenza dell'esposizione alle condizioni correnti per un secolo. Il livello di MR viene calcolato stimando il contributo di quattro variabili:

1. Frazione di collezione suscettibile.
2. Perdita di valore conseguente al danno.
3. Probabilità di danno.
4. Estensione del danno.

I rischi sono classificati sulla base della frequenza con la quale si attende che si verificheranno (eventi rari, eventi comuni e processi cumulativi) e dell'impatto che ne deriverebbe (catastrofe, danno grave, deterioramento lieve). Le tipologie di rischio così ottenute sono le seguenti:

- Tipo 1: raro e catastrofico = meno di un evento atteso catastrofico nei

prossimi 100 anni;
- Tipo 2: sporadico e intenso = pochi episodi gravi per secolo o decennio;
- Tipo 3: costante e graduale = processo lieve ma continuo o eventi deboli ripetuti più di una volta l'anno.

In generale, l'informazione riguardo i rischi di Tipo 1 dovrebbe essere ottenuta da agenzie centrali (esempio INGV, Carta del Rischio ecc.), la magnitudine dei rischi di Tipo 2 può essere dedotta dall'analisi delle condizioni materiali delle collezioni nel corso del tempo (esempio *Condition Report* e Schede Conservative dei beni) e infine i rischi di Tipo 3 andrebbero determinati sulla base del tasso di deterioramento associato alle condizioni ambientali di conservazione. Nell'ultimo caso vengono in aiuto le cosiddette "equazioni di danno", relazioni sperimentali elaborate nell'ambito della scienza dei materiali in cui la velocità di deterioramento è espressa in funzione di grandezze fisiche misurabili nell'ambiente (temperatura, umidità relativa, illuminamento ecc.). Il monitoraggio microclimatico e il campionamento chimico e biologico assumono dunque un ruolo fondamentale nel ridurre l'incertezza associata alla valutazione di questa tipologia di rischi.

La combinazione tra agenti di deterioramento e tipologie di rischio fornisce una panoramica estesa dei possibili rischi a carico delle collezioni. Per ogni rischio generico (agente di deterioramento) possono essere identificati rischi specifici che ne analizzano le diverse modalità di espletamento e l'impatto atteso dal verificarsi di ciascuna.

Il "metodo CPRAM" calcola la frazione di collezione soggetta al rischio di perdita di valore nel corso di 100 anni applicando la seguente formula:

$$MR = FS \times LV \times P \times E \qquad (13.2)$$

MR = magnitudine del rischio
FS = frazione suscettibile
LV = perdita di valore – *loss of value*
P = probabilità di danno
E = estensione del danno

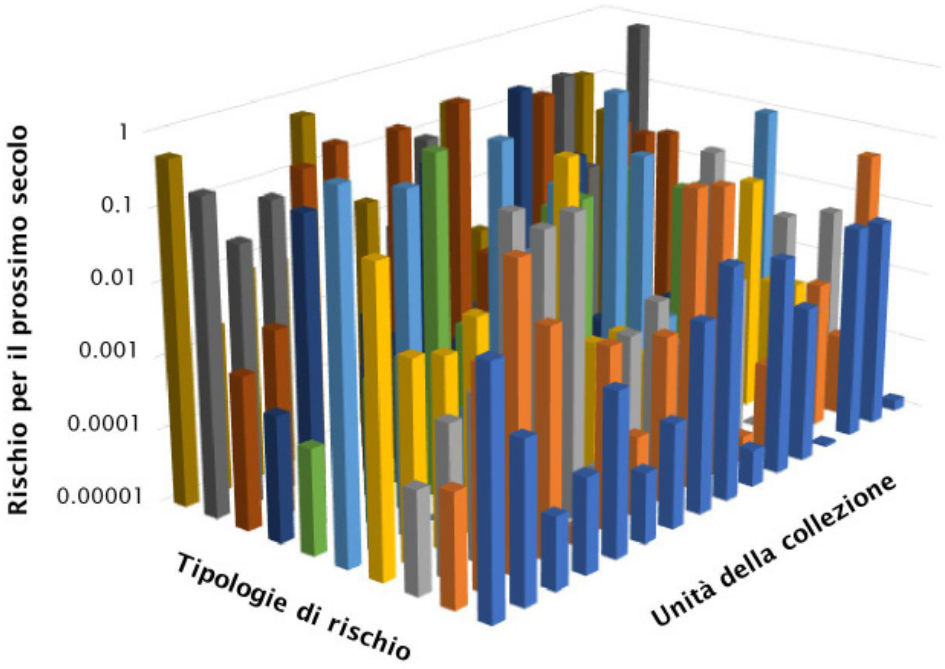
Sia FS che LV sono normalizzate come frazioni di 1. Ad esempio, se metà della collezione è vulnerabile ad un certo rischio FS sarà pari a 0,5. P è la probabilità stimata che un particolare evento si verifichi nel corso di un secolo ed è espressa con un valore tra 0 e 1. Infine E misura a quanto ammonterebbe la perdita di valore LV associata alla frazione vulnerabile FS nell'arco di 100 anni. La Magnitudine del Rischio risultante sarà quindi compresa tra 0 e 1: tanto più il suo valore sarà vicino all'unità tanto maggiore sarà il rischio per la collezione.

Dopo che tutti i rischi sono stati identificati e che ne è stata determinata la magnitudine, possono essere esplorate le possibili strategie di mitigazione e confrontate tra loro sulla base della effettiva capacità di ridurre i maggiori rischi per la collezione esaminata. I valori di MR possono essere visualizzati complessivamente attraverso istogrammi (fig. 13.2). Questa rappresentazione, tuttavia, non è di immediata comprensione ed è necessario separare gli assi per affrontare compiutamente l'analisi e l'interpretazione quindi dei risultati[23].

Al livello generale, la mitigazione dei rischi può avvenire seguendo tre strade: eliminazione della causa di rischio, instaurazione di una barriera ostativa, azione diretta sull'agente responsabile.

Fig. 13.2

Grafico "a foresta". Istogramma di Magnitudine del Rischio nel corso del prossimo secolo (asse verticale) rispetto alle unità della collezione e ai rischi identificati (assi orizzontali). Nel caso di studio mostrato nell'esempio sono stati presi in esame 10 tipologie di rischio per ciascuna unità in cui è stata suddivisa la collezione



Sebbene molto spesso più di una opzione sia disponibile per affrontare la riduzione del rischio, è bene individuare quale di esse possa risultare più efficace nella mitigazione del rischio complessivo a carico della collezione.

L'analisi dei costi e dei benefici associati a ogni strategia conservativa completa l'analisi, giudicando l'effetto di ciascun intervento sugli altri agenti di deterioramento, i vantaggi e gli svantaggi legati alle fasi di sviluppo e mantenimento delle soluzioni e, infine, i rischi che ne potrebbero derivare al di fuori della collezione. L'impiego di questo metodo è stato descritto in numerosi casi di studio[24], di cui alcuni specifici per ambienti di conservazione archivistici[25].

Il "modello ABC" di Michalski Michalski è autore del "metodo ABCD"[26], recentemente proposto da ICCROM, CCI e RCE per la valutazione del rischio nella sua revisione nota come "metodo ABC". Quest'ultimo è esposto nelle due guide (2016): "The ABC Method. A Risk Management Approach to the Preservation of Cultural Heritage" e la versione sintetica "The Guide to Risk Management of Cultural Heritage".

La valutazione del rischio è basata anche in questo caso sul concetto di Magnitudine del Rischio (MR), definito come l'intensità di ogni rischio specifico individuato nella fase di identificazione. La valutazione del valore di MR viene calcolata con la formula:

$$MR = A + B + C \qquad (13.3)$$

A = frequenza evento dannoso o tasso di degradazione cumulativo
B = perdita di valore di ciascun manufatto
C = porzione di collezione interessata (%)

Le scale di valutazione delle componenti A, B e C sono logaritmiche (incrementi su base 10) e divise in 5 categorie di riferimento (tab. 13.2).

Il rischio, inteso dunque come perdita di valore di un bene patrimoniale, è espresso su scala logaritmica.

Tabella 13.2 – Livelli di priorità correlati alla *magnitudo* del rischio e alla perdita di valore delle collezioni.

A) FREQUENZA DELL'EVENTO DANNOSO Quanto spesso si verifica il rischio		
Valore	**Eventi** (eventi che si verificano più di una volta l'anno sono da considerare rischi continui, cumulativi). **Tempo medio tra gli eventi**	**Processi** **Velocità di perdita di valore**
5	Continuo/ogni anno ca.	Approssimativamente in 1 anno.
4½	Ogni 3 anni ca.	Approssimativamente in 3 anni.
4	Ogni 10 anni ca.	Approssimativamente in 10 anni.
3½	Ogni 30 anni ca.	Approssimativamente in 30 anni.
3	Ogni 100 anni ca.	Approssimativamente in 100 anni.
2½	Ogni 300 anni ca.	Approssimativamente in 300 anni.
2	Ogni 1.000 ca.	Approssimativamente in 1.000 anni.
1½	Ogni 3.000 ca.	Approssimativamente in 3.000 anni.
1	Ogni 10.000 ca.	Approssimativamente in 10.000 anni.
B) PERDITA DI VALORE SUBITA DA OGNI MANUFATTO		
Valore	**%**	**Definizione per ogni manufatto**
5	100	Perdita totale o quasi.
4½	30	
4	10	Parte significativa.
3½	3	
3	1	Piccola parte.
2½	0,3	
2	0,1	Parte molto piccola.
1½	0,03	
1	0,001	Parte minima.
C) PERDITA DI VALORE PER LA COLLEZIONE (PORZIONE INTERESSATA) **Nel caso in cui tutti i manufatti hanno lo stesso valore quanti oggetti sono interessati?** **Nel caso in cui ci sia una torta di valore con oggetti di diverso valore: quale parte della torta è interessata?**		
Valore	**%**	**Definizione per ogni manufatto**
5	100	Tutta o la maggior parte.
4½	30	
4	10	Parte significativa.
3½	3	
3	1	Piccola parte.
2½	0,3	
2	0,1	Parte molto piccola.
1½	0,03	
1	0,001	Parte minima.

Le scale di valutazione delle componenti A, B, C, sono quindi logaritmiche (in base 10) e divise in 5 categorie di riferimento: MR = 15 + log base 10 (corrisponde alla frazione della collezione perduta ogni anno). Quindi MR = 15 corrisponde a una perdita di valore del 100% all'anno, MR = 14 del 10% e così di seguito.

I livelli di priorità sono stabiliti sulla base del punteggio ottenuto dal calcolo di MR (tab. 13.3).

Tabella 13.3 – Livelli di priorità, basati sulla magnitudine del rischio, correlati alla perdita di valore della collezione.

MR	PRIORITÀ	RISCHIO
15–13½	Catastrofica	Probabile perdita della maggior parte della collezione in pochi anni.
13–11½	Estrema	Danni considerevoli nell'arco di una decina di anni.
11½–9	Elevata	Perdita significativa del valore della collezione entro un secolo.
9–7½	Moderata	Probabilità moderata di perdita di valore in decenni o notevole deterioramento della maggior parte della collezione in millenni.
7–5½	Trascurabile	Danno minimo a una piccola parte di collezione nell'arco di secoli.

I risultati sono visualizzabili attraverso un grafico detto "a tornado" (fig. 13.3), in cui i rischi sono rappresentati sulla base dell'ordine decrescente di MR. Gli interventi che è possibile intraprendere sono riassumibili nelle 5 tipologie di seguito elencate.

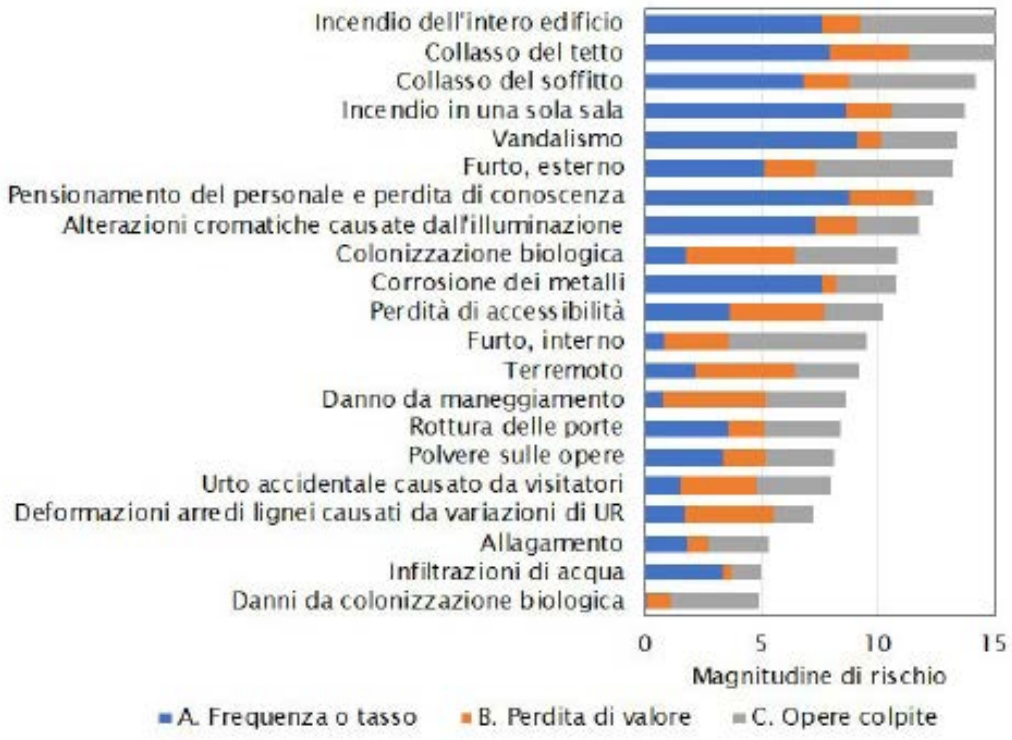


Fig. 13.3

Esempio di applicazione del "metodo ABC" in un museo all'interno di un edificio storico. Grafico "a tornado" in cui la Magnitudine di Rischio (MR) per ciascuno dei rischi analizzati è ordinata dal valore maggiore al valore minore. MR è calcolato come somma di:
A = Frequenza o tasso (rosso),
B = Perdita di valore per ogni oggetto interessato (giallo),
C = Oggetti coinvolti (blu)

1. Annullamento totale del rischio.
2. Barriera al meccanismo di deterioramento.
3. Monitoraggio continuo e rilievo.
4. Riduzione e controllo.
5. Restauro.

Ognuno dei rischi specifici individuati può essere mitigato attraverso una o più azioni di contrasto. Confrontando le opzioni proposte è possibile generalmente individuare la più efficace in termini di riduzione del rischio complessivo e/o di costi associati. L'ICCROM, in partnership con il CCI e l'Agenzia per il patrimonio culturale dei Paesi Bassi, è stato promotore di corsi di formazione per insegnare i principi del "metodo ABC"[27] e di una guida divulgativa pubblicata nel 2016 sul suo sito ufficiale[28].

In tabella 13.4 viene presentato il "metodo ABCD" proposto da Michalski.

Tabella 13.4 – "Metodo ABCD", componenti valutazione rischio (rielaborata e tradotta da: Michalski, 2006).

A) ACCADIMENTO DEL RISCHIO – Probabilità di deterioramento		
Valore	**Rischi legati ad eventi distinti**	**Rischi che si accumulano progressivamente**
3	Una volta all'anno ca.	Il deterioramento si produrrà in un anno ca.
2	Una volta ogni 10 anni ca.	Il deterioramento si produrrà in 10 anni ca.
1	Una volta ogni 100 anni ca.	Il deterioramento si produrrà in 100 anni ca.
0	Una volta ogni 1.000 anni ca.	Il deterioramento si produrrà in 1.000 anni ca.
B) ENTITÀ DI DANNO DI CIASCUN MANUFATTO INTERESSATO – Perdita proporzionale del valore %		
Valore	**Valutazione del danno**	**Percentuale**
3	Deterioramento con perdita totale (o quasi).	100%
2	Deterioramento significativo ma limitato.	10%
1	Deterioramento moderato o reversibile.	1%
0	Deterioramento appena percepibile.	0,1%
C) PROPORZIONE DELLA COLLEZIONE INTERESSATA – Frazione della collezione a rischio %		
Valore	**Valutazione quantitativa**	**Percentuale**
3	Totalità (o quasi).	100%
2	Larga parte.	10%
1	Piccola parte.	1%
0	Singolo manufatto.	0,1%
D) IMPORTANZA DEI MANUFATTI INTERESSATI – Valore dei manufatti a rischio		
Valore	**Definizione**	
3	Molto superiore al valore mediano (100 volte il valore mediano).	
2	Superiore al valore mediano (10 volte il valore mediano).	
1	Importanza media.	
0	Inferiore al valore mediano (1/10 del valore mediano).	

* Esempio totale dei valori: A = 3 + B = 3 + C = 3 + D = 1.
Intensità del rischio (totale): MR = 10.
Ai valori ottenuti corrispondono diversi livelli di priorità (12–0), anche se già al valore 10 viene attribuita una priorità molto alta. Dalla massima priorità si va a quella in cui in pratica si può considerare nullo il rischio di perdita. Si possono attribuire anche valori frazionati (esempio: 2,5).

Diverse istituzioni hanno sfruttato questo modello per affrontare la gestione del rischio[29]. Ad esempio il Peabody Museum of Natural History di Yale nel Connecticut (USA) ha di recente revisionato la sua strategia di controllo microclimatico alla luce di un'estensiva indagine condotta seguendo i principi della valutazione del rischio[30].

Applicando il "metodo ABC" in combinazione con le equazioni di danno (vedi Capitolo 4), è stato possibile stabilire le priorità conservative per le sue vaste collezioni e superare le indicazioni restrittive fornite degli standard sul microclima per una gestione del museo in maniera maggiormente sostenibile.

Nel "metodo ABCD", la variante alternativa, la somma dei valori associati ricavati dall'esame di queste componenti fornisce l'intensità del rischio specifico individuato come segue:

$$MR = A + B + C + D \qquad (13.4)$$

A = probabilità di deterioramento
B = perdita di valore di ciascun oggetto
C = frazione collezione a rischio
D = valore oggetto a rischio

Le categorie di riferimento dell'intensità del rischio corrispondono ai livelli di priorità che offrono indicazioni sulle modalità di azione da intraprendere. In pratica sommando le relative valutazioni si ottiene un indice di rischio secondo tale sequenza:

- 9–10 Priorità estrema. Possibilità di perdita delle collezioni quasi inevitabile nell'arco di qualche anno derivante soprattutto da eventi eccezionali. Le condizioni di rischio molto elevato presuppongono attività di pronto intervento.
- 6–8 Priorità alta. Possibilità di perdita o di deterioramento di una parte significativa della collezione nell'arco di qualche anno. Le condizioni di rischio elevato portano a stabilire urgenti interventi di attenuazione.
- 4–5 Priorità moderata. Possibilità di deterioramento di qualche manufatto nell'arco di alcuni decenni. Le condizioni di rischio possibile portano ad interventi di mitigazione/attenuazione.
- 1–3 Priorità bassa. Condizioni di rischio quasi nullo. Possibilità di danni minimi/insignificanti. Il danno si può manifestare dopo molti decenni.

13.5 Altri strumenti per la valutazione del rischio

I metodi fin qui esposti richiedono un notevole dispendio di tempo e forze per essere portati a compimento, dunque molte istituzioni sono portate a rinunciare ad applicarli. Al giorno d'oggi, per via della limitata disponibilità di risorse, velocità ed efficienza sono condizioni imprescindibili della pianificazione delle attività di gestione delle collezioni. Queste ragioni hanno spinto verso lo sviluppo di metodi alternativi in grado di fornire un primo discernimento sistematico dei rischi senza addentrarsi in un'analisi estensiva e/o più approfondita.

Le matrici di rischio sono lo strumento più semplice per quantificare sommariamente la magnitudine del rischio e ordinare le priorità di azione. Questo approccio inverte la prospettiva di studio, partendo dal generale e

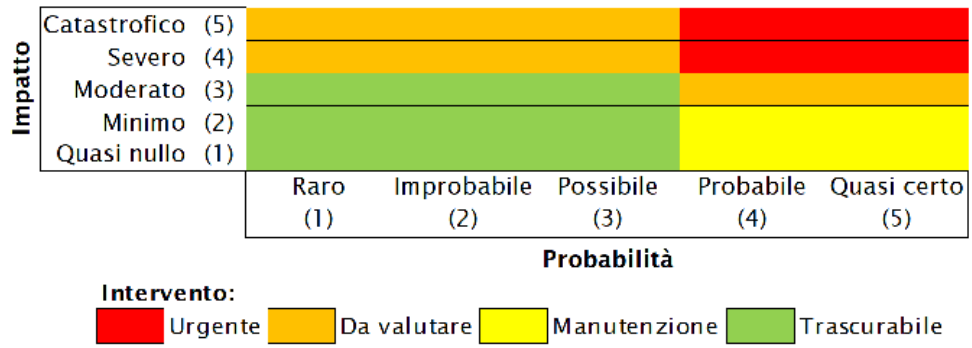


Fig. 13.4

Matrice di valutazione del rischio attualmente adottata alla British Library

giungendo al particolare solo nei casi in cui venga riscontrata un'effettiva necessità, riducendo così l'analisi agli aspetti di maggiore urgenza.

Questa versione semplificata per la valutazione dei rischi[31] si è dimostrata un valido supporto per circostanziare ai finanziatori e allo staff coinvolto, le strategie adottate nella cura dell'immenso patrimonio della biblioteca, consentendo inoltre di chiarire efficacemente priorità di intervento ed eventuali richieste a diversi livelli[32].

Al Dipartimento di Conservazione della British Library negli ultimi anni l'impiego di matrici ha avuto un incremento in particolare per la valutazione del rischio associato a specifici oggetti e scenari, in modo da stabilire l'urgenza delle misure di conservazione preventiva da adottare[33]. Per snellire il processo di analisi, il rischio è stimato considerando solamente l'impatto e la probabilità dei danni riconducibili a ciascuna delle opzioni alternative a confronto. I punteggi sono assegnati su una scala da 1 a 5 (da quasi nullo a catastrofico per l'impatto e da raro a quasi certo per la probabilità associata all'evento dannoso).

Nella figura 13.4 è mostrata la matrice 5×5 attualmente adottata dal Centro di Conservazione della British Library per la valutazione dei rischi[34]. La tipologia di griglia usata presso la BL raffigura come arrivare ad attribuire il rischio: l'impatto derivante da ciascun agente dannoso moltiplicato la probabilità dell'accadimento di un evento, dona una rappresentazione a colori di istantanea visualizzazione e comprensione del pericolo.

Un altro strumento sintetico per la valutazione del rischio è il "metodo QuiskScan", nato nel 2016 grazie a una fattiva collaborazione[35]. Facendo riferimento alle varie istituzioni culturali che avevano utilizzato i metodi introdotti da Michalski e Waller, il metodo si colloca a metà strada tra le buone pratiche dettate dall'esperienza e l'avvio di un programma estensivo di valutazione del rischio per le collezioni. Semplice e come dice il nome, rapido, è proposto come una "scansione rapida" dei rischi in grado di identificare le aree in pericolo all'interno della collezione.

Questo metodo è stato ottenuto applicando alla valutazione del rischio il concetto di visualizzazione globale attraverso mappe, come nella "Carta del Rischio"[36], sviluppando l'approccio della mappatura del rischio attraverso una scansione di tipo matriciale. Similmente alla sovrapposizione della localizzazione dei beni vincolati su mappe geologiche (unitamente a vulnerabilità ed esposizione agli agenti di rischio), con il "metodo QuiskScan" possono essere individuati i "valori vulnerabili", cioè i casi in cui sussiste la possibilità che si verifichino grandi perdite. I rischi maggiori sono generati dalla combinazione tra alto valore e alta vulnerabilità. Alcuni dei passaggi indicati nella descrizione

del metodo sono comuni ai modelli visti in precedenza: determinazione del contesto, definizione dell'anatomia della collezione, valutazione dei valori relativi di ciascuna unità costitutiva e determinazione della vulnerabilità agli agenti di degradazione e del livello di esposizione[37]. Il risultato finale è una matrice sintetica che utilizza un codice visivo per l'individuazione delle priorità.

Nella figura 13.5 la vulnerabilità è stata valutata su una collezione fittizia suddivisa nelle unità A-E (ad esempio differenti tipologie di manufatti) e circoscritta a 5 generici agenti di danno (I-V). Il valore relativo di ciascuna unità della collezione e la sua vulnerabilità all'agente considerato viene espressa in una scala "Alto" (A), "Medio" (M) o "Basso" (B).

La valutazione del rischio è basata sulla combinazione di questi due parametri; un codice visivo a colori viene assegnato per distinguere facilmente le unità interessate dai maggiori rischi[38]:

- rosso (A×A): grande perdita possibile su cui intervenire con massima urgenza;
- arancio (A×M = M×A): perdite significative possibili, su cui intervenire con urgenza;
- giallo (M×M): possibili perdite, su cui decidere se intervenire;
- verde (A×B = B×A = M×B = B×M): eventuali perdite minori, non urgenti;
- azzurro (B×B): eventuali perdite trascurabili.

Fig. 13.5

Un esempio di applicazione del Quisk-Scan a una collezione immaginaria: definizione della ripartizione di valore per ciascuna unità della collezione (Alto = A, Medio = M, Basso = B), assegnazione della vulnerabilità di ognuna (Alta = A, Media = M, Bassa = B) agli agenti di danno considerati (I-V) e valutazione finale del rischio sulla base della combinazione valore-vulnerabilità (scala di colori: rosso = A×A, arancio = A×M = M×A, giallo = M×M, verde = A×B = B×A = M×B = B×M, azzurro = B×B)

Anatomia della collezione		Valore relativo	Vulnerabilità agli agenti di deterioramento				
Unità	Numero		I	II	III	IV	V
A	500	A	A	B	M	B	B
B	1000	A	A	M	M	A	A
C	5000	M	A	M	A	A	M
D	300	B	B	A	B	B	B
E	1500	B	B	B	B	M	M

Nel "metodo QuiskScan" viene valutata la vulnerabilità in funzione di ciascuno dei 10 agenti di deterioramento[39]. Sulla base dello scopo dell'indagine si può decidere di limitare la "scansione" agli agenti di rischio più rilevanti oppure condurre un'analisi a tutto tondo. Questo strumento è stato impiegato al British Museum per bilanciare opportunamente la preparazione degli oggetti per le esposizioni e la cura delle collezioni nei depositi[40].

Proseguendo nella sfera anglosassone, va menzionato il gruppo di conservatori dell'English Heritage, organismo pubblico inglese incaricato di gestire il patrimonio culturale, che negli anni tra il 2005 e il 2010 ha messo a punto il "metodo EH", su base statistica, facendo riferimento a un lavoro di Joel Taylor, conservatore *project specialist* del Getty Conservation Institute.

Taylor specifica che le indagini svolte sulle condizioni di una collezione forniscono informazioni sul suo stato conservativo, mentre la valutazione del rischio aggiunge aspetti predittivi sul potenziale di deterioramento dei manufatti. L'esame quindi delle probabili cause di danno nella valutazione può fornire un collegamento con gli agenti di deterioramento presi in considerazione. La combinazione di queste due valutazioni può in tal modo fornire spunti utili e chiarire quali siano le priorità per gestire una raccolta. In conclusione, l'integrazione delle indagini sulle condizioni attuali della collezione unita a una valutazione del rischio è in grado di aumentare la comprensione delle aspettative attuali e future di una raccolta.

Il "modello EH" si basa su 8 fattori di deterioramento:

1. instabilità del manufatto (è noto che alcuni manufatti come ad esempio quelli fotografici hanno la tendenza a deteriorarsi per via delle loro proprietà intrinseche);
2. condizioni conservative/espositive;
3. umidità relativa non corretta;
4. polvere (da manipolazione o mancanza di igiene);
5. luce;
6. infestanti;
7. documentazione (per alcuni manufatti l'assenza di documentazione significa una perdita di valore);
8. eventi eccezionali/atti vandalici.

Questi elementi sono raggruppati secondo la logica che ad ognuno corrisponde sistematicamente una soluzione realizzabile nel quadro delle attività intraprese dall'istituzione. Il rischio può essere quantificato dalla formula:

$$RS = P \times Q \times LV \qquad (13.5)$$

RS = punteggio rischio – *risk score* (in percentuale)
P = probabilità rischio
Q = quantità della collezione
LV = perdita di valore – *loss of value*

La matrice del rischio è così definita:

$$R = I \times P \qquad (13.6)$$

R = Rischio
I = Impatto
P = Probabilità

Al punteggio di rischio RS per eventi eccezionali, quindi con priorità estrema, è stato dato il valore del 100%.

Un ultimo interessante esempio recente di valutazione del rischio è fornito dallo studio condotto nel 2016 per impostare una strategia di ricollocamento della celebre nave vichinga conservata ad Oslo[41]: un'analisi approfondita ha permesso di confrontare quattro scenari differenti tenendo in considerazione la futura conservazione della nave e della collezione associata, il loro valore e potenziale di ricerca e le implicazioni per la società norvegese.

Un'efficace panoramica riepilogativa sui diversi modelli di valutazione del rischio esistenti (quantitativi, semiquantitativi e qualitativi) è stata presentata nel lavoro di revisione realizzato da Ramalhinho e Macedo dell'Università di Lisbona (2019)[42]. Nello studio proposto i metodi di valutazione sono affrontati in funzione delle tipologie di beni culturali a cui possono essere applicati (mobili e immobili) e sono discussi i principali vantaggi e svantaggi del loro utilizzo.

Dopo aver introdotto il concetto di rischio e il profilo storico della gestione del rischio in ambito internazionale, insieme ai metodi più diffusi per la valutazione del rischio, nelle pagine che seguono verrà presentata una panoramica dei rischi di danno, elaborata dagli autori del presente contributo, in cui possono incorrere i vari materiali fotografici.

13.6 I rischi conservativi per i materiali fotografici

Fig. 13.6

8 dei 10 agenti di deterioramento utilizzati per la valutazione del rischio

Il compito di chi si occupa della conservazione delle collezioni fotografiche sarà quello di procedere alla stesura di una ipotesi di riorganizzazione dei possibili rischi di danno sui materiali fotografici in base agli agenti di deterioramento proposti da Michalski (fig. 13.6) e utilizzati nella fase della valutazione del rischio.



Ipotesi di classificazione dei danni In tabella 13.5 viene presentata un'ipotesi di classificazione dei rischi di danno a carico dei vari supporti fotografici. I danni tipicamente riscontrabili su materiale fotografico sono stati organizzati in funzione degli agenti di deterioramento definiti da Michalski e trattati al § 13.3, in uno sforzo di poter essere impiegati a supporto della valutazione dei rischi a carico delle collezioni.

Nella classificazione proposta non sono stati presi in considerazione le conseguenze di atti di furto, vandalismo e dissociazione, in quanto il loro effetto è riconducibile prioritariamente alla sottrazione indebita prolungata e alla perdita di informazione e/o unità delle serie. Non sono state cioè considerate le due voci: "Criminalità" e "Dissociazione" (cfr. tab. 13.1).

Da considerare inoltre che al posto della voce "Piante e parassiti" (cfr. tab. 13.1) sono stati inclusi: "Organismi nocivi" e al posto di "Contaminanti" (cfr. tab. 13.1) la voce "Inquinanti chimici" che comprende anche le tipologie di danno derivanti dai componenti stessi delle fotografie.

Quello che va ribadito è che non esiste una separazione netta tra la causa che ha provocato un danno da un'altra (causa). Per tale motivo un danno può derivare (e questo si verifica molto spesso) dall'azione concomitante di più fattori. Ad esempio un foro/cunicolo (galleria) prodotto dall'azione di coleotteri anobidi è il risultato dell'azione erosiva della larva che si nutre del materiale a base cellulosica (carta o legno) ma è anche derivante da valori di temperatura e umidità relativa senz'altro favorevoli a questo sviluppo. Anche macchie/depositi dovute/dovuti all'azione dei microrganismi dipendono dalla presenza di tali deteriogeni ma anche da condizioni termoigrometriche favorevoli allo sviluppo degli stessi.

Tabella 13.5 – Classificazione dei rischi di danno per i materiali fotografici sulla base dei vari agenti di deterioramento.

AGENTI	RISCHI DI DANNO
Forze fisiche	Abrasione, decoesionamento, deformazione, deposito, foro, graffio, impronta, incrinatura, macchia, lacerazione, lacuna, piega, rottura, taglio.
Fuoco	Alterazione cromatica, annerimento da combustione, deformazione, deposito, distruzione.
Acqua	Compattamento, corrosione, decoesionamento, deformazione, distacco, gora, macchia, migrazione di colorante, opacizzazione, rammollimento.
Organismi nocivi – *pests**	Alterazione cromatica, cunicolo (galleria), deposito, erosione, foro, lacuna, macchia, opacizzazione.
Inquinanti chimici	Alterazione cromatica, canalizzazione, gora, macchia, specchio d'argento.
Luce, ultravioletto, infrarosso	Alterazione cromatica, crettatura, decoesionamento, deformazione, distacco, macchia, opacizzazione.
Temperatura inadeguata	Alterazione cromatica, canalizzazione, corrosione, crettatura, deformazione, decoesionamento, distacco.
Umidità relativa inadeguata	Alterazione cromatica, canalizzazione, crettatura, deformazione, decoesionamento, distacco, opacizzazione, specchio d'argento.

* Infestanti (artropodi e roditori) e contaminanti (microrganismi: funghi e batteri).

Prima di stendere un elenco, non certamente esaustivo, delle diverse tipologie di danno a carico dei vari supporti fotografici, manufatti eterogenei altamente compositi (per una disamina generale vedi Capitolo 2) si vuole ribadire il concetto di danno.

Il termine "danno", definito in diversi modi a seconda del contesto e del campo di utilizzo[43], è in genere indicato come una diminuzione del valore di un oggetto.

Nella norma UNI EN 15898:2012[44], che definisce i termini generali nel settore della conservazione del patrimonio culturale, tale termine viene interpretato come: «*Alteration that reduces significance or stability*», la cui traduzione può essere «Alterazione che riduce il significato o la stabilità».

Kristel Van Camp nello strumento "Damage Atlas for Photographic Materials", da lei realizzato, unisce le definizioni di Jonathan Ashley-Smith ed Eric Dirix inserendo anche i termini "condizione" e "stato iniziale":

> «*Damage is something that by an effect on our level of understanding and enjoyment or on the object's life-span causes a decrease in condition. It can be determined by comparing two states, the actual state after the wrongful action and the initial state where the damage has not yet occurred*».

Tradotto dagli autori come:

> «Il danno è qualcosa che, a causa di un effetto sul nostro livello di comprensione e godimento o sulla durata di vita dell'oggetto, provoca una diminuzione delle sue condizioni. Può essere determinato confrontando due stati, lo stato effettivo dopo l'azione illecita e lo stato iniziale in cui il danno non si è ancora verificato».[45]

Glossario dei danni Facendo riferimento anche a questa premessa sono state individuate 30 tipologie di danno (delineate in ordine alfabetico), che si basano su quelle individuate nella "Scheda Conservativa per i documenti fotografici" (vedi sito ICCD)[46], in cui possono incorrere i diversi materiali fotografici sulla base dei diversi agenti di deterioramento, danni che devono essere indagati per cercare di comprendere la loro origine (tab. 13.6).

1. Abrasione/*abrasion* – [lat.: *abrădĕre*] asportazione superficiale di materiale dovuta ad azione di attrito anche ripetuta nel tempo.
2. Alterazione cromatica/*colour change, discolouration* – si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta, chiarezza, saturazione, intensità. A tale definizione sono stati associati anche: annerimento (da combustione)/*blackening*, imbrunimento/*browning*, ingiallimento/*yellowing*, migrazione del colorante/*dye migration* (attraverso la stampa o sulla superficie della stampa – danno rilevabile ad es. su alcune tipologie di stampe digitali prive di *coating*), sbiadimento/*fading* (tipico è il *color dye fading* delle pellicole a colori). Vengono incluse anche le caratteristiche dominanti del colore delle stampe a sviluppo cromogeno (figg. 5.2–5.5). Si possono inserire altresì in questa danno le ossidazioni sui dagherrotipi (figg. 6.1–6.2).
3. Canalizzazione/*channeling* – [der.: da canalizzare, dal lat.: *cănālis*] rigonfiamento/*swelling*, tunnel tra strati contigui (es. tra supporto ed emulsione). Si verifica tipicamente nei supporti in acetato di cellulosa.
4. Compattamento/*cohesion*, *blocking* – [lat.: *compactus*] adesione sostenuta dei materiali quando si trovano a contatto tra di loro, ciò avviene in seguito a presenza di acqua o ad elevata umidità ambientale. Tipico dei supporti cartacei e di quelli con emulsione alla gelatina.
5. Corrosione/*corrosion* – [lat.: *corrōdĕre*] degradazione di un metallo (generalmente si riferisce al supporto dei ferrotipi) dovuta a interazione chimica (perlopiù elettrochimica) con l'ambiente circostante. Si può evidenziare con depositi di prodotti di corrosione dalla morfologia anche puntiforme. V. § 9.4 e figg. 9.26–9.26b.
6. Crettatura/*craquelure* – [lat.: *crĕpĭtare*, formare delle crepe] comunemente nota con il termine di *craquelure*, la crettatura consiste nelle perdita di continuità che si manifesta su legante o vernici sotto forma di microfessure più o meno profonde (v. § 4.3). Dovuta a trazioni meccaniche indotte da fenomeni chimici e fisici, è tipica delle stampe all'albumina (fig. 4.7) ma si manifesta anche in fotografie con leganti diversi (figg. 4.8–4.10a), ricoperte da vernici di vario tipo o nelle carte plastificate. Si può includere sotto questa voce la reticolazione della gelatina dovuta sempre a contrazione che può avvenire durante le fasi di sviluppo e fissaggio.
7. Cunicolo/*tunnel* – [dal lat.: *cunicŭlus*] galleria di ampiezza ridotta e di forma allungata più o meno tortuosa prodotta dall'azione di organismi quali ad es. le larve di insetti anobidi e dermestidi (figg. 8.15, 8.15a).
8. Decomposizione/*decomposition* – [der. di decomporre, dal lat.: *decomposĭtus*] divisione dei componenti di una sostanza. Tipica è la decomposizione del vetro in cui avviene il passaggio della struttura del vetro da amorfa a cristallina, con conseguente opacizzazione/*dulling*. Comprende l'affioramento di sostanze alcaline sulla superficie sottoforma di gocce in caso di alta umidità relativa o come depositi.
9. Decoesionamento/*dechoesion* – [der. lat.: *cŏhaesus*] diminuzione e/o perdita di coesione tra i vari componenti strutturali. Può provocare aumento della porosità del materiale con possibile caduta di frammenti,

più o meno minuti, e conseguente alterazione delle caratteristiche meccaniche originarie. Il decoesionamento porta anche a fenomeni di disgregazione e polverulenza. Il danno si rileva ad es. nelle pellicole in nitrato di cellulosa in stato di avanzato deterioramento, negli acetati nonché nei supporti cartacei soprattutto secondari.

10. Deformazione/*warping* – [lat.: *dēformātĭo*] variazione della forma originale di un oggetto. La deformazione, che ha conseguenze più o meno accentuate sulla planarità del supporto, riguarda l'intero spessore e può avere differenti manifestazioni in relazione ai diversi materiali costitutivi (figg. 6.12, 6.13a, 12.9, 12.10). Una classica deformazione è l'arrotolamento delle stampe all'albumina (fig. 5.6). Sono inclusi nella voce anche altri termini quali: ondulazione/*cockle*, piega/*crease* e rigonfiamento/*swelling*.
11. Deposito/*accretion, deposit* – [lat.: *dēpŏsĭtum*] sedimento, più o meno voluminoso, sulla superficie di materiali di natura diversa che comporta alterazioni dei componenti materici. Può presentarsi sciolto (accumuli di polvere, deiezioni polverulente, residui di materiale vario decoeso) o compatto (concrezioni). Comprende anche la formazione di depositi cristallini sugli strati, ad es. degli acetati di cellulosa o sui supporti in vetro.
12. Distacco/*detachment* – [prob. der. di staccare + prefisso dis] sollevamento di parti di materiale con perdita di continuità tra i vari strati di un manufatto (v. § 4.3, figg. 4.5, 4.10, 4.10a, 4.11, 4.12, 6.13–6.13b). Comporta la caduta di porzioni di materiale (figg. 9.26–9.26b). Assimilabili al distacco sono: la delaminazione/*delamination* (perdita di coesione tra elementi strutturali del manufatto), lo scollamento/*detachment* (es. dell'emulsione dai supporti) e lo sfaldamento/*flaking* (divisione nel senso dello spessore di strati più o meno sottili che si verifica ad es. nel cartone di montaggio).
13. Distruzione/*destruction* – [lat.: *destruĕre*] destrutturazione, che equivale alla perdita totale dell'oggetto. Tale danno è stato associato ad es. al fuoco, anche se qualsiasi agente può, in casi estremi, portare alla totale distruzione di un manufatto.
14. Erosione/*wear* – [lat.: ērōsĭo] asportazione di materiale dalla superficie. In questo contesto si è inteso il danno dovuto a processi di natura biologica, all'azione cioè da parte di biodeteriogeni (es. insetti o roditori). V. Capitolo 8 e figg. 4.6, 4.6a, 8.3, 8.4, 8.8, 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.17, 8.17a, 8.17b, 8.19, 8.19a).
15. Esfoliazione/*exfoliation* – [lat.: *exfoliāre*] distacco di porzioni laminari (strati), di spessore molto ridotto, dalla superficie di un oggetto. Tipico dei difetti della placcatura della lastra d'argento dei dagherrotipi.
16. Foro/*hole* – [lat.: *fŏrus*] apertura di piccole dimensioni di forma tondeggiante che attraversa i materiali. Può essere di origine meccanica, biologica (es. azione erosiva di larve di coleotteri anobidi/dermestidi) o chimica (i fenomeni corrosivi possono produrre danni di questo tipo).
17. Gora/*tideline* – [di etimologia incerta] segno di demarcazione dovuto all'azione di un solvente (molto spesso l'acqua) sulla superficie di un supporto.
18. Graffio/*scratch* – [lat.: *gràphium*, stilo metallico usato per scrivere = gr. γραφεῖον, ciò che lascia un segno] sottile solco superficiale con lieve asportazione di materiale (fig. 8.19a).
19. Impronta/*imprint* – [lat.: *imprĭmĕre*] segno determinato dalla pressione di un oggetto sulla superficie della fotografia. Stesso significato di

ammaccatura e incavo. Si include anche l'impronta digitale/*fingerprint*, traccia lasciata dalle dita delle mani su un supporto (v. tab. 13.6).

20. Incrinatura/*crack* – sottile fenditura che limita la continuità di un supporto riducendone la resistenza meccanica. Tipica dei supporti di vetro (fig. 12.11).
21. Infragilimento/*embrittlement* – [der. di infragilire dal lat.: *fragĭlis*] modifica delle proprietà meccaniche di un supporto. Tipico dei supporti cartacei o delle pellicole (che arrivano anche a rompersi).
22. Lacerazione/*tear* – [lat.: *lăcĕrāre*] apertura o fenditura determinata da fattori esterni a carico dei supporti cartacei o in tessuto che possono coinvolgere anche lo strato immagine.
23. Lacuna/*loss* – [lat.: *lăcūna*] assenza di parti, mancanza di continuità nei materiali. Può essere anche di origine biologica ad es. determinata dall'azione erosiva di un organismo.
24. Macchia/*stain* – [lat.: *măcŭla*] area di colore diverso che interrompe, per lo più guastandolo, il colore uniforme di una superficie. Nel caso delle fotografie si tratta di un'alterazione che si manifesta con pigmentazione di diverso colore sulla superficie di strato immagine o supporto. Si può distinguere dall'alterazione cromatica in quanto una macchia, di diversa morfologia e grandezza, copre in quella determinata area l'immagine. La pigmentazione è correlata sia alla presenza di sostanze estranee (es. prodotti metabolici di origine microbica – figg. 9.15–9.17a – deiezioni di organismi, contatto accidentale con varie sostanze, inquinanti atmosferici, migrazione di inchiostri ecc.) sia a componenti intrinseche derivanti dai supporti primari e/o secondari o dai residui di sviluppo e fissaggio (i fenomeni di solfurazione dovuti a residui di tiosolfato tendono a formare macchie anche nelle aree bianche) dovuti a lavaggi e fissaggi insufficienti o non appropriati (fig. 6.7). Si includono anche le alterazioni che vanno sotto il nome di *foxing* (figg. 9.21–9.22), fenomeno complesso studiato già a partire dagli anni Trenta dello scorso secolo. Caratterizzate da una colorazione che va dal giallo al rosso-bruno le macchie di *foxing* — le cui cause non sono ancora descritte e spiegate in modo univoco e coerente — costituiscono uno dei principali problemi della conservazione della carta. Altro tipo di danno da inserire sono le macchie *redox*. Tipiche sono le macchie circolari ad anelli concentrici, alternativamente chiari e scuri, denominate *redox blemishes* (*microspots* o *red spots*) dovute a ossidazioni localizzate (fig. 9.20a, 12.15).
25. Opacizzazione/*loss of brightness* – [lat.: ŏpācus] definibile come perdita di lucentezza dello strato immagine o del supporto o anche perdita di trasparenza.
26. Rammollimento/*softening* – [lat.: *rĕmollīre*] perdita di consistenza. Tipico caso è quello riferibile all'ammorbidimento dell'emulsione di gelatina dovuta al contatto con acqua o vapore acqueo. Le pellicole in nitrato in uno stadio di avanzata degradazione tendono ad ammorbidirsi.
27. Rottura/*breakage* – [lat.: *rumpĕre*] si indica in genere il danno a carico di un supporto in vetro. Anche danni come strappi (perdita dell'originaria unità dell'oggetto) e tagli (interruzione della continuità del materiale in tutto il suo spessore) sono annoverabili come rotture.
28. Smaltatura/*ferrotyping* – smaltatura è la traduzione del termine inglese. In realtà *ferrotyping* non ha un vero correspettivo in italiano. Indica comunque un cambiamento delle caratteristiche superficiali risultante dal contatto di due superfici (meglio osservabile con luce speculare).

29. Specchio d'argento/*silver mirroring* – fenomeno con tipico effetto a specchio, dalla colorazione tendenzialmente verso il blu, già evidenziato verso la fine dell'Ottocento, dovuto al deposito di particelle d'argento metallico proveniente dallo strato immagine, in seguito a processi di ossidoriduzione. Tutta la letteratura scientifica cita il trasferimento degli ioni Ag^+. Questa tipologia di alterazione determina un cambiamento nelle proprietà ottiche e, quindi, nell'aspetto della fotografia. La specchiatura d'argento appare come un deposito o una lucentezza metallica bluastra e, a seconda delle condizioni di illuminazione, cambia notevolmente aspetto. Si possono verificare fenomeni di iridescenza. Sui negativi visti in luce trasmessa le aree colpite appaiono più dense o ingiallite a seconda del grado di danno. Presente sui procedimenti a base di argento (soprattutto alla gelatina). Nella tab. 13.5 tale danno è stato attribuito a umidità relativa inadeguata e a inquinanti chimici ma anche cause intrinseche del materiale concorrono alla sua formazione (v. § 6.2 e figg. 4.6, 6.8–6.11a).
30. Solfurazione/*sulfiding* – [der. dal lat.: *sŭlphur* o *sŭlfur*] serie di danni di varia morfologia e colorazione, in genere tendente al giallo, giallo-verdastro, dovuti alla formazione di Ag_2S. La fonte di S può derivare dagli inquinanti esterni presenti in ambiente, dai cartoni di montaggio (figg. 6.1–6.5) o dai residui di tiosolfato (iposolfito) utilizzato per rendere solubile l'alogenuro d'argento – AgX (sale formato da Ag e da X, alogeno, generalmente bromo o cloro) non ridotto dall'azione dello sviluppo. V.: § 6.2.

Indicazioni conclusive Vengono delineate, infine, alcune indicazioni a carattere generale volte ad indirizzare il giudizio in sede operativa a proposito dell'applicazione dei principi della valutazione del rischio nella gestione pratica delle collezioni. Di buona norma i fattori di deterioramento che si sono osservati con maggiore frequenza dovrebbero essere trattati per primi e monitorati periodicamente. Al fine di poter stabilire le priorità nell'intervento e ordinare gli agenti di rischio in funzione della loro urgenza relativa, occorrerà cominciare innanzitutto dalla valutazione — sulla base degli indici di riferimento — della gravità del danno e della sua estensione (in altre parole, quanti siano i manufatti interessati dal danno, in quale entità e se siano coinvolti più ambienti conservativi).

Alla base della valutazione del rischio sono da ribadire le ispezioni periodiche e l'isolamento degli oggetti, in entrata (in un'area dedicata e distaccata da altre zone conservative e/o espositive), per un periodo di tempo che verrà definito in base a criteri specifici.

In merito alle diverse tipologie di danno, particolare importanza rivestono quelli di origine biologica in quanto possono comportare problematiche di varia natura e di non facile gestione (es. infestazioni di difficile individuazione, come quello da termiti, e di impegnativo controllo, o contaminazioni con una espansione veloce e nascosta). A titolo di esempio, il danno causato da umidità relativa inadeguata sarà da considerarsi più grave nel caso delle stampe alla gelatina, caratterizzata da una maggiore igroscopicità, rispetto a quelle all'albumina o al collodio. Allo stesso modo una temperatura inadeguata sarà responsabile di un rischio maggiore per pellicole in acetato e/o nitrato di cellulosa rispetto ad altri supporti. Lo stesso varrà per le fotografie a colori, soprattutto per quelle a sviluppo cromogeno che, tra le varie tipologie di materiali a colori, si attestano come le maggiormente deteriorabili.

Tabella 13.6 – Esempi di danni da forze fisiche su stampe alla gelatina.

AGENTI DI DETERIORAMENTO: FORZE FISICHE	
Cause	**Effetti sui supporti fotografici**
Attività non condotte correttamente di: manipolazione, conservazione, movimentazione ecc.	Abrasione, decoesionamento, deformazione, deposito, foro, graffio, impronta, incrinatura, macchia, lacerazione, lacuna, piega, rottura, taglio.
Immagini di riferimento	
A) Impronte su stampa alla gelatina; B) impronta digitale su stampa alla gelatina; C) rottura del supporto primario di stampa alla gelatina montata su supporto secondario; D) abrasione sullo strato immagine di stampa alla gelatina (sono visibili anche numerose erosioni dovute all'azione da parte di insetti).	



Ne consegue che questi materiali, come affrontato più dettagliatamente nel Capitolo 12 (dedicato all'archiviazione di beni fotografici particolarmente problematici) andrebbero conservati, laddove possibile, in celle refrigerate. In seconda istanza, sarà necessario abbinare all'impatto stimato la probabilità con cui ci si attende che possa verificarsi.

Un esempio in tal senso sono gli eventi catastrofici, come incendi e allagamenti, la cui probabilità di accadimento viene minimizzata attraverso l'adozione di impianti di sicurezza adeguati.

In conclusione, è bene tenere a mente che le pratiche di gestione e di valutazione del rischio all'interno delle numerose e variegate realtà

conservative sono insostituibili strumenti di conservazione preventiva; nonostante l'indiscutibile efficacia, tuttavia, sono ancora scarsamente impiegate nelle realtà culturali per via delle ampie risorse di cui necessitano e del tempo richiesto per una loro adeguata implementazione. Soltanto un cambio di mentalità nell'approccio concettuale alla conservazione, come auspicato nel Capitolo 1, potrà condurre all'introduzione di strategie di mitigazione dei rischi per le collezioni che siano al contempo efficaci, sostenibili e di lunga veduta.

Nel panorama odierno, le istituzioni del patrimonio culturale dovrebbero dunque impegnarsi a investire in maniera efficace le risorse disponibili, coniugando le esigenze del bilancio attuale con quelle delle future generazioni. L'auspicio di chi scrive è che i principi che sostenengono questo approccio possano risultare utili alle numerose figure professionali coinvolte nella conservazione delle collezioni, per strutturare la loro azione e per orientare le loro scelte conservative.

Note alle immagini

Fig. 13.1 diagramma elaborato da Elena Verticchio, modificata da: C. Antomarchi e S. Michalski, *A Guide to Risk Management*, ICCROM & Canadian Conservation Institute, 2016.

Fig. 13.2 grafico elaborato da Elena Verticchio, riproduzione originale da: R.R. Waller, *Cultural Property Risk Analysis Model: Development and Application to Preventive Conservation at the Canadian Museum of Nature*, Göteborg Studies in Conservation book 13, Göteborg, Acta Universitatis Gothoburgensis, 2003.

Figg. 13.3 grafico elaborato da Elena Verticchio, estratto da: C. Antomarchi e S. Michalski, *A Guide to Risk Management*, ICCROM & Canadian Conservation Institute, 2016.

Fig. 13.4 rielaborazione grafica di Elena Verticchio e traduzione da: A.H. Kuzucuoglu, *Risk management in libraries, archives and museums*, in *International Refereed Academic Social Sciences Journal*, 5, 15, 2014, pp. 277–294; C. Rogerson, P. Garside, *Increasing the profile and influence of conservation – an unexpected benefit of risk assessments*, in *Journal of the Institute of Conservation*, 40, 1, pp. 34–48, 2017, DOI: 10.1080/19455224.2016.1214848.A.

Fig. 13.5 rielaborazione grafica di Elena Verticchio e traduzione da: C. Rogerson, P. Garside, *Increasing the profile and influence of conservation – an unexpected benefit of risk assessments*, in *Journal of the Institute of Conservation*, 40, 1, pp. 34–48, 2017; A.H. Kuzucuoglu, *Risk management in libraries, archives and museums*, in *International Refereed Academic Social Sciences Journal*, 5, 15, 2014, pp. 277–294.

I materiali inseriti nelle immagini della tabella 13.5 appartengono alla collezione Donatella Matè.

Note bibliografiche

[1] UNI 11230:2007, *Gestione del rischio – Vocabolario*, Milano, Ente nazionale italiano di unificazione, 2007.

[2] W.W. Lowrance, *Of Acceptable Risk: Science and the Determination of Safety*, N.Y., William Kaufmann, 1976.

[3] ISO 31000:2009, *Risk Management: Principles and Guidelines*, Ginevra, International Organization for Standardization, 2009.

[4] R.R. Waller, *Risk management applied to preventive conservation,* in *Storage of Natural History Collections: A Preventive Conservation Approach*, C.L. Rose, C.A. Hawks, H.H. Genoways (eds.), Pittsburgh, Society for the Preservation of Natural History Collections, pp. 21–27, 1995.

[5] R.R. Waller, *Cultural property risk analysis*

model: development and application to preventive conservation at the Canadian Museum of Nature, in *Studies in Conservation*, 49, 4, 2004, pp. 283–284. DOI: 10.2307/25487704.

[6] *Ibid.*

[7] ICCROM, UNESCO, ICOMOS, WHC, *Risk Preparedness: A Management Manual for World Cultural Heritage*, H. Stovel (ed.), Roma, ICCROM, 1998.

[8] J. Ashley-Smith, *Risk Assessment for Object Conservation*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1999.

[9] ICCROM, *A Guide to Risk Management*, ICCROM & Canadian Conservation Institute, 2016.

[10] S. Michalski, J.L. Pedersoli, *The ABC Method: a Risk Management Approach to the Preservation of Cultural Heritage*, Ottawa, Canadian Conservation Institute & ICCROM, 2016.

[11] A. Bülow, *Collection management using preservation risk assessment*, in *Journal of the Institute of Conservation*, 33, 1, 2010, pp. 65–78, DOI: 10.1080/19455220903509960.

[12] M*i*BAC, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei* (art. 150, comma 6, D.Lgs n. 112/1998), Elaborato del Gruppo di Lavoro (D.M. 25/07/2000), (Gazzetta Ufficiale n. 244 del 19 ottobre 2001 – Supplemento Ordinario n. 238).

[13] G. Accardo, C. Cacace, R. Rinaldi, *Il sistema informativo territoriale della Carta del Rischio*, in *ARKOS, Scienza e Restauro dell'Architettura*, 6, 2005, pp. 43–52; ICR, *La Carta del Rischio per la tutela dei centri storici*, 2019, da: http://www.icr.beniculturali.it/pagina.cfm?usz=1&uid=182&idnew=657 (consultato il 16/06/2022); MiC – ICR, Carta del Rischio – documentazioni, da: http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/documentazioni (consultato il 18/06/2022).

[14] Soprintendenza archivistica e bibliografica della Lombardia, *Piano di Conoscenza per la Sicurezza di Archivi e Biblioteche*, P. Mussini, L. Sassi (eds.), 2016, da: https://www.sa-lom.archivi.beniculturali.it/fileadmin/risorse/documenti_pagine/emergenza_e_prevenzione/Piano_di_conoscenza_per_la_sicurezza_di_archivi_e_biblioteche.pdf (consultato il 18/06/2022).

[15] M. McCubbin, R.R. Waller, *Improving risk assessment methods in a complex setting: Museum Victoria's collection risk assessment*, in *ICOM Committee for Conservation (ICOM-CC), Triennial meeting, 17th, Melbourne, Australia, 2014*, The International Council of Museums, 2014; A. Cannon, H. Privett, M. McCubbin, R.R. Waller, *Towards the Collectively Subjective': The challenges of estimating loss in value during collection risk assessments*, ICOM-CC 18th Triennial Meeting Copenhagen, Preprints, 4–8 September 2017, J. Bridgland (ed.), Paris, International Council of Museums, 2017.

[16] A. Bülow 2010, *op. cit.*

[17] A.W. Brokerhof, A.E. Bülow, *The QuiskScan – a quick risk scan to identify value and hazards in a collection*, in *Journal of the Institute of Conservation*, 39, 1, pp. 18–28, 2016, DOI:10.1080/19455224.2016.1152280.

[18] C. Rogerson, P. Garside, *Increasing the profile and influence of conservation – an unexpected benefit of risk assessments*, in *Journal of the Institute of Conservation*, 40, 1, pp. 34–48, 2017, DOI: 10.1080/19455224.2016.1214848.

[19] R.R. Waller, *The state of the art in cultural property risk analysis: reflections on the Lisbon 2011, International symposium and workshop on Cultural property Risk Analysis, Lisbon 2011*, in *Collection Forum*, 27, 1–2, 2013, pp.18–25.

[20] J. Ashley-Smith, *Risk Assessment for Object Conservation*, London, Routledge, 1999.

[21] Government of Canada, *Ten Agents of Deterioration*, Canadian Conservation Institute, da: https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration.html (consultato il 16/06/2022).

[22] A. Brokerhof, B. Ankersmit, F. Ligterink, *Risk Management for Collections*, Cultural Heritage Agency of the Netherlands, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort, 2017.

[23] A.C. Pinheiro, M.F. Macedo, *Risk assessment: A comparative study of archive storage rooms*, in *Journal of Cultural Heritage*, 10, 3, pp. 428–434, 2009.

[24] L.K. Elkin, D. Fenkart-Froeschl, E. Nunan, R.R.

Waller, *A Database Tool for Collections Risk Evaluation and Planning*, in *ICOM Committee for Conservation (ICOM). Triennial conference, 16th, Lisbon, Portugal, 19-23 September 2011*, Almada, Critério, 2011; A. Cannon, R.R. Waller, *Illuminating intuition with evidence: assessing collection risks within Museums Victoria's exhibitions*, in *Australian Institute for the Conservation of Cultural Material (AICCM) Bulletin*, 38, 1, 2017, pp. 25–35, DOI: 10.1080/10344233.2017.1347246; A. Cannon, H. Privett, M. McCubbin, R. Waller, *Towards the "collectively subjective": The challenges of estimating loss in value during collection risk assessments*, in *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints, Copenhagen, 4–8 September 2017*, J. Bridgland (ed.), Paris, International Council of Museums, 2017.

[25] A.C. Pinheiro, M.F. Macedo 2009, *op. cit.*; A. Bülow 2010, *op. cit.*

[26] S. Michalski, J.L. Pedersoli 2016, *op. cit.*

[27] L.K. Elkin, E. Nunan, D. Fenkart-Froeschl, *The "Collections Risk Management" program at the American Museum of Natural History*, in *Collections: A Journal for Museum and Archives Professionals*, 9, 1, 2013, pp. 125–138; R. Bagan, *Beyond the traditional approach to preventive conservation*, Interview S. Michalski, in *Rescat, Centre de Restauració de Béns Mobles de Catalunya*, pp. 3–7, 2016.

[28] C. Antomarchi, S. Michalski, *A Guide to Risk Management*, ICCROM & Canadian Conservation Institute, 2016.

[29] A. Brokerhof, B. Ankersmit, F. Ligterink 2017, *op. cit.*; L.K. Elkin *et al.* 2013 *op. cit.*; A.W. Brokerhof, T. Scholte, B. Ankersmit, G. Wijers, S. Vermaat, *Installation art subjected to risk assessment – Jeffrey Shaw's Revolution as case study*, in *Installation Art and the Elastic Form,* 2011, pp. 91–101.

[30] L. Bratasz, T. White, S. Butts, C. Sease, N. Utrup, R. Boardman, S. Simon, *Toward sustainable collections management in the Yale Peabody Museum: risk assessment, climate management, and energy efficiency*, in *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*, 59, 2, 2018, pp. 249–269, DOI: 10.3374/014.059.0206.

[31] University of California, *Library Collections Risk Model*, da: https://www.ucop.edu/enterprise-risk-and-resilience/erm/tools-templates/library-collections-risk-model.html (consultato il 18/06/2022).

[32] A.W. Brokerhof, A.E. Bülow 2016, *op. cit.* Soprintendenza archivistica e bibliografica della Lombardia, 2016, *op. cit.*; C. Rogerson, P. Garside 2017, *op. cit.*

[33] C. Rogerson, P. Garside 2017, *op. cit.*; The British Library, *Risk Management Policy Framework*, S. Bradbury, october 2021, pp. 1–17, da: https://www.bl.uk/about-us/governance/policies/britishlibrary/~/media/6857e06a86b848108c8ee2a4b49090fd.ashx (consultato il 18/06/2022).

[34] C. Rogerson, P. Garside 2017, *op. cit.*

[34] *Ibid.*

[36] A.W. Brokerhof, A.E. Bülow 2016, *op. cit.;* A. Brokerhof *et al.* 2017, *op. cit.*

[37] A.W. Brokerhof, A.E. Bülow 2016, *op. cit.*

[38] *Ibid.*

[39] *Ibid.*

[40] A. Brokerhof *et al.* 2017, *op. cit.*

[41] A.W. Brokerhof, A.E. Bülow 2016, *op. cit.*

[42] A.R. Ramalhinho, M.F. Macedo, *Cultural heritage risk analysis models: an overview*, in *International Journal of Conservation Science*, 10, 1, 2019, pp. 39–58.

[43] K. Van Camp, *Damage atlas for photographic materials. Analogue objects*, in *CeROArt, Conservation, Exposition, Restauration d'Objects d'Art*, EGG 1, 2010, DOI: 10.4000/ceroart.1770.

[44] UNI EN 15898:2019, *Conservazione del patrimonio culturale – Termini generali e definizioni*, Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2019.

[45] K. Van Camp 2010, *op. cit.*

[46] ICCD, *Scheda Conservativa Fotografia versione 2.0*, D. Matè, D.S. Palazzi (eds.), Gruppo di lavoro ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, novembre 2017, pp. 1–14, da: http://www.iccd.beniculturali.it/getFile.php?id=6072 (consultato il 18/06/2022).

14 L'emergenza pandemica: problematiche correlate

Maria Carla Sclocchi, Donatella Matè, Flavia Pinzari

La pandemia di COVID-19[1] ancora lontana dall'essere debellata ha avuto — ed ha tuttora — un forte impatto di tipo sanitario, economico e sociale. Dichiarata come la sesta emergenza sanitaria pubblica di interesse internazionale, l'11 marzo 2020, Tedros Adhanom Ghebreyesus (direttore generale dell'OMS), l'ha definita come pandemia.

L'esordio della malattia è datato approssimativamente tra la fine del 2019 e gli inizi del 2020. Nel grave momento di emergenza per la sanità pubblica internazionale, i ricercatori e gli studiosi di tutto il mondo si sono impegnati nella produzione di un gran numero di studi sulle varie tematiche inerenti, arricchendo continuamente la conoscenza di questo nuovo virus e del suo impatto. Già alla fine del 2020 le più eminenti riviste scientifiche avevano pubblicato articoli su ricerche cliniche ed epidemiologiche riguardanti il nuovo virus e le sue varianti e i molteplici aspetti sia scientifici sia sociali che erano coinvolti. All'inizio del mese di novembre 2022 il numero degli studi su COVID-19 disponibili su PubMed (motore di ricerca di letteratura scientifica biomedica – https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/) è salito a 311.889 con un sostenuto incremento giornaliero.

Gli studi si sono concentrati principalmente sull'aspetto prettamente rivolto alle misure sanitarie ma un grande dibattito si è svolto sulla comunicazione, sulla didattica a distanza, sul lavoro agile e su molto altro ancora. Per quanto riguarda la trasmissibilità del virus numerose ricerche si sono incentrate sul monitoraggio di SARS-CoV-2 nell'aria, sia *indoor* che *outdoor*, e sulle superfici di varia natura al fine di valutare il rischio di contrarre l'infezione virale da ambienti contaminati[2]; si è inoltre indagato sul ruolo delle condizioni ambientali nella conservazione della infettività delle particelle virali considerando tutti i parametri possibili come la temperatura e l'umidità, la velocità del vento o anche la funzione del cibo, dell'acqua, dell'aria, degli insetti, delle superfici inanimate, delle mani, nella trasmissione del virus[3].

Così come il variegato mondo dei musei — siamo infatti il Paese con una delle concentrazioni più elevate di patrimonio culturale tutelato — anche le istituzioni come le biblioteche e gli archivi, numerosi e dislocati sul territorio, sono stati chiamati a rispondere ad impellenti interrogativi di gestione dei flussi delle persone. Pertanto, in seguito a questa emergenza, ci si è trovati coinvolti in una situazione di difficile gestione principalmente per questioni legate alla regolamentazione della fruizione dei beni conservati o alla loro manipolazione dopo la consultazione e/o i prestiti. In tale emergenza sanitaria è inoltre emersa la preoccupazione di eventuali contagi tra le persone nelle sale studio ma anche quella legata alla promiscuità generata dalla manipolazione dei materiali archivistici e librari da parte di utenti potenzialmente portatori del virus. Queste problematiche naturalmente sono state trattate a livello globale.

Di fatto, le misure preventive hanno dovuto tenere in considerazione principalmente la comprensione delle vie di trasmissione di questo virus, la sua stabilità ambientale e la sua persistenza sulle varie superfici. Non ultimo la

pandemia ha anche fornito lo spunto per l'apertura di discussioni scientifiche su annosi problemi che riguardano i trattamenti della eventuale disinfezione dei materiali, ma anche le scelte dei prodotti destinati a sanificare gli ambienti prima della riapertura dei siti dopo il *lockdown* nazionale di marzo-aprile 2019.

14.1 Uno scenario tra passato e presente

Tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo negli ambiti letterari e bibliotecari, specialmente negli Stati Uniti, si diffuse il panico provocato dal timore che i libri manipolati da persone malate, in particolare quelli prestati oppure consultati nelle biblioteche, potessero diffondere malattie mortali. Erano gli anni delle grandi scoperte scientifiche, anni in cui si cominciava a comprendere, tra il grande pubblico, grazie "alla rivoluzione microbiologica" legata alle sperimentazioni di Louis Pasteur e Robert Koch, che molte malattie erano provocate da germi; la morte di una bibliotecaria del Nebraska, per tubercolosi, fu collegata al suo ambito lavorativo e ci fu una grande discussione su questo evento, come riportato in "The great book scare – created a panic that you could catch an infection just by lending from the library" (scritto in tempi non sospetti). La malattia in quel periodo era molto diffusa e questo timore provocò una grande diffidenza verso il settore bibliotecario che allora era certamente in forte espansione. Inoltre, come aggiunge l'autore, poteva essere facile risalire alle persone che prendevano in prestito i libri e quindi associare la diffusione di malattie incurabili alla manipolazione dei libri; ciò scatenò una grande ansia collettiva che sfociò anche in atti legislativi (prodotti sia in Inghilterra sia negli Stati Uniti) i quali non consentivano il prestito di libri a persone malate e si comminavano salatissime multe alle biblioteche[4].

Ovviamente tutto questo scatenò una corsa alla prescrizione di metodologie scientifiche, e non, per "disinfettare" i libri "contagiati". Si aprì in ogni caso la strada alle metodologie attuali che, nel nostro secolo, offrono possibilità di trattamento molto diversificate, nessuna però esente al 100% dal provocare qualche danno ai complessi sistemi dei beni polimaterici.

Un altro tassello di questo puzzle, che ci porta verso l'enorme problema sanitario attuale, è il trattamento di protezione che nel corso di cinque secoli hanno dovuto subire le merci e la posta per evitare la diffusione di agenti nocivi. Come ben riassunto nell'articolo, sono stati applicati molti trattamenti empirici che, in parte e periodicamente, insieme alla quarantena, frenarono la diffusione verso l'uomo degli agenti patogeni, metodi che vanno dalla fumigazione alla profumazione con specie vegetali aromatiche e anche all'aggiunta di minerali di forte tossicità.

Nelle biblioteche i libri erano trattati con mercurio e arsenico, specie gli erbari, con lo scopo di debellare anche insetti e "muffe"[5]. La disinfezione della posta è andata avanti fino all'inizio del XIX secolo passando dall'immersione in aceto, all'esposizione di vapori di zolfo (con produzione di biossido di zolfo) sino alla formaldeide e al biossido di cloro o la candeggina al 10% negli ambienti; i raggi X o le radiazioni ionizzanti venivano utilizzati sulle singole lettere. Il problema si faceva però sempre più complesso considerando che se si eseguiva un trattamento "esterno" nulla garantiva la penetrazione all'interno; quindi si escogitarono marchingegni allo scopo di disinfettare internamente senza aprire il plico, garantendo in tal modo la riservatezza. Una

volta completato il trattamento, bisognava renderlo noto per distinguerlo dai plichi non trattati e ancora una volta la fantasia applicativa di timbri, scritte e altro ha lasciato molte testimonianze.

Quando agli inizi del Novecento si capì che probabilmente molti agenti microbiologici erano trasportati da vettori specifici, decadde l'uso di disinfettare la posta ma a metà degli anni Cinquanta, ancora per la lebbra e la tubercolosi, si continuò a utilizzare la formaldeide o il riscaldamento in forni elettrici delle missive.

Come già specificato nell'introduzione, si è davanti ad un fenomeno inedito: una pandemia che continua a generare interrogativi pressanti in ogni ambito circa la trasmissione del virus SARS-CoV-2. Anche oggi che, con l'impegno della gran parte degli stati nel mondo, la somministrazione di vaccini innovativi insieme a sistemi di protezione personale (mascherine e distanziamento sociale) hanno consentito di frenare fortemente la diffusione del virus.

Archivi e biblioteche di ogni paese manipolano quotidianamente enormi quantità di carta e materiali diversi costituenti libri e altri manufatti. I frequentatori, come gli operatori del settore, devono essere garantiti sull'applicazione delle norme di protezione e ad oggi, mentre si scrive questo testo, una condivisione di atti di semplice operatività. Ci si è a lungo interrogati in merito alla persistenza del virus sulle superfici e quindi anche sui materiali consultati; di fatto è stato accettato per tutto il periodo dell'emergenza, in ogni parte del mondo, che l'isolamento del manufatto dopo ogni consultazione, per un tempo ragionevole, avrebbe dovuto ragionevolmente garantire dalla non trasmissibilità verso l'uomo.

In questo contesto è opportuno riassumere al lettore non specialista e in linea con le attuali ricerche scientifiche, come le più note sostanze chimiche disinfettanti, con azione virucida, possano essere utilizzate sui beni conservati nei vari archivi, biblioteche, musei, gallerie ecc.

I coronavirus, membri della famiglia *Coronaviridae,* sono virus che nell'attuale tassonomia sono collocati nell'ordine *Nidovirales*, responsabili di infezioni respiratorie lievi in persone di tutte le età e responsabili del 10–20% dei casi di raffreddore comune, che si manifesta soprattutto dalla fine dell'autunno all'inizio della primavera. Questi virus possono tuttavia causare, occasionalmente, gravi sindromi delle basse vie respiratorie. Al gruppo dei coronavirus appartiene il virus della *Severe Acute Respiratory Syndrome* (SARS), responsabile di una forma atipica di polmonite, e il virus della *Middle East Respiratory Syndrome* (MERS). I pazienti affetti da queste patologie possono sviluppare gravi disfunzioni respiratorie e polmonite nell'arco di pochi giorni. La patologia determinata da SARS-COV-2 si manifesta come sindrome infiammatoria multisistemica (MIS-C), scatena cioè una malattia sistemica che colpisce più organi.

La maggior parte delle infezioni si verifica attraverso contatti stretti (distanza inferiore a 1 m) tra pazienti e familiari, conviventi e operatori sanitari, a supporto di una ipotesi di trasmissione mediata da contatto diretto o attraverso goccioline di grandi dimensioni[6]. La diffusione per via aerea è stata ipotizzata per alcune epidemie: la trasmissione all'interno di un aereo dal passeggero sintomatico a viaggiatori localizzati a notevole distanza[7], la trasmissione in un hotel da un ospite a numerosi clienti che soggiornavano sullo stesso piano[8], l'epidemia in un grande complesso residenziale a Hong Kong in cui si sono verificati più di 300 casi di SARS in poche settimane[9]. Un *cluster* definisce l'aggregazione di casi di una malattia con concentrazioni di infezioni nella stessa area nello stesso tempo. Nella fase di epidemia di

SARS si sono evidenziati dei *cluster* tra operatori sanitari esposti durante le manovre ad alto rischio di aerosolizzazione quali intubazione endotracheale e broncoscopia. Il virus è stato identificato in campioni di aerosol prelevati da una stanza occupata da un paziente con SARS (oltre che in diversi oggetti e superfici)[10], a conferma della possibilità di trasmissione aerea. Il controllo della malattia in ambiente ospedaliero, basato sull'identificazione rapida dei casi sospetti e sulla loro gestione appropriata, compreso l'isolamento e l'osservazione dei contatti è fondamentale per ridurre il rischio di trasmissione dell'infezione. Per chi voglia approfondire questi argomenti si consiglia la lettura dell'interessante testo di David Quammen dal titolo "Spillover. L'evoluzione delle pandemie" (2012).

Infine si deve considerare che la mancanza di valori soglia per i virus in ambienti *indoor*, e la mancanza di specifici riferimenti normativi, rendono di difficile interpretazione studi e ricerche su questo argomento. In generale le dinamiche della sopravvivenza e della disseminazione/trasporto dei virus in ambienti interni, come pure il ruolo della ventilazione e di altri fattori ambientali, sono ancora poco conosciuti. Di conseguenza risulta limitata anche la possibilità di prevenire e controllare le infezioni virali in questi ambienti.

14.2 Revisione della letteratura scientifica: sopravvivenza del virus sulle superfici

Contesto dell'emergenza Il Coronavirus SARS-CoV-2, agente patogeno di Covid-19, viene evidenziato nel novembre del 2019. Per l'esattezza il 2019-nCoV, come veniva in quel momento identificato, è stato rilevato il 17 novembre 2019 in un piccolo *cluster* a Wuhan, nella provincia di Hubei in Cina. Si tratta di un nuovo ceppo di coronavirus mai precedentemente identificato nell'uomo.

Come altri coronavirus, è rivestito da una capsula protettiva, detta capside, molto efficiente in quanto in grado di conferire un'adeguata resistenza. In tal modo il genoma virale risulta altamente protetto venendo così conservata la sua integrità. Grazie a ciò è possibile l'ingresso nelle cellule animali e umane e quindi l'infezione. Il virus, in virtù di questo involucro altamente protettivo, ha, inoltre, la possibilità di persistere sui vari materiali (in base alle loro caratteristiche costitutive) e, quindi, anche sui manufatti di interesse culturale.

I beni dati in consultazione o in prestito possono perciò rappresentare un veicolo di particelle virali e pur essendo queste strutture non vitali riescono a penetrare nelle cellule viventi infettandole. I virus usano il proprio materiale genetico e le funzioni replicative e di sintesi proteica della cellula infettata, per riprodursi.

Con la pandemia è, quindi, emerso il timore di contagio legato alla promiscuità nella loro manipolazione da parte di utenti potenzialmente "portatori" del virus. Il problema legato alla "igienicità" dei materiali sottoposti a consultazione non è nuovo nell'ambito dei beni culturali. Già negli anni Ottanta e Novanta del Novecento si sono effettuati studi sulla quantità e qualità della carica microbica presente sui documenti e libri consultati in archivi e biblioteche, ricerche che hanno prodotto risultati anche inaspettati (Tarsitani *et al.*, 1999)[11]. Nel lavoro di Tarsitani sono stati analizzati e confrontati, dal punto di vista microbiologico, quantità uguali di volumi frequentemente e scarsamente consultati campionando sulle pagine il particolato biologico batterico e fungino. Come risultato si è visto che la consultazione lascia de-

positata una flora microbica di origine umana, in particolare epiteliale ma anche oro-fecale mentre i poco o non visionati volumi accumulavano in prevalenza un particolato di origine ambientale. Oltre alla flora microbica e fungina di origine antropica e ambientale depositata sui materiali consultabili, e potenzialmente trasmissibile da oggetto ad uomo, oggi si è di fronte ad un nuovo interrogativo che riguarda la possibile persistenza anche delle particelle virali espulse dal fruitore sul materiale e l'eventuale, seppur remota, possibilità di trasmissione crociata ad altre persone.

Nella gestione di archivi e biblioteche ci si è posti anche il quesito su quali tutele e accorgimenti adottare, da parte degli operatori del settore, durante le fasi di ricollocazione dei beni. La comunità scientifica specializzata è stata concorde nell'indicare che nessun trattamento chimico o fisico debba essere applicato sui beni presi in esame. Infatti le procedure di esecuzione richiederebbero protocolli specifici non gestibili *in loco* dal personale, inoltre i beni potrebbero esserne danneggiati e si potrebbero avere ripercussioni sulla salute degli operatori.

La prevenzione è stata dunque attivata ai massimi livelli basandosi sulle indicazioni che, in tal senso, erano state dettate dai maggiori esperti al fine di ridurre al minimo la possibilità di contagio per gli addetti ai servizi e per i fruitori.

Studi internazionali di riferimento sulla permanenza di SARS-COV-2 Gli studi su permanenza e conservazione dell'infettività di SARS-CoV-2 sulle superfici inanimate non sono, ad oggi, certamente esaustivi. Sicuramente i virus sono inanimati ma possono essere infettivi. Nel periodo di massima espansione della pandemia sono stati diffusi molti dati scaturiti da varie sperimentazioni ma le variabili prese in esame non sono sempre state sufficienti a rendere universalmente validi i valori ottenuti. La permanenza e l'infettività dei virus sono, però, due parametri molto diversi che si misurano con tecniche differenti, inoltre la carica infettiva (il numero di particelle virali depositate sui materiali) è determinante nel definire l'arco temporale in cui le stesse possono mantenere la capacità di infettare una cellula. Ciò dipende dalla variabilità individuale delle stesse particelle che, se in gran numero, avranno una statistica più ampia (una distribuzione normale dei tempi di inattivazione, con particelle rapidamente disattivate ma anche particelle più resistenti nel tempo). A questo si sommano variabili capaci di interferire ampiamente con i tempi di permanenza e infettività dei virus sia a RNA che DNA. Per esempio, la porosità delle superfici, la temperatura e l'umidità ambientale, la presenza di sostanze bioattive (quali: minerali, metalli, particelle di polvere contenenti a loro volta composti di varia natura ecc.), l'irraggiamento luminoso, sono tutti elementi che possono far variare sostanzialmente la stabilità delle particelle virali[12].

Il ruolo dell'ambiente sulla persistenza dei virus nell'aria, come del resto per batteri e funghi, si rivela dunque significativo. L'umidità relativa (in particolare negli aerosol) influisce sul tempo di sopravvivenza dei virus, inoltre la relazione tra umidità relativa e temperatura e inattivazione dell'entità biologica è una certezza. Tra i due fattori è comunque la temperatura quella in grado di influenzare in modo più significativo la sopravvivenza[13].

Per ciò che riguarda il ruolo dell'ambiente nella trasmissione dei virus degna di nota è l'ipotesi della relazione fra persistenza del virus e inquinamento dell'aria.

Notevole attenzione al ruolo dell'inquinamento atmosferico sulla diffusione e sulla letalità del Coronavirus è stata presa in considerazione sin dagli

inizi della pandemia. Si è ipotizzato infatti che alcuni inquinanti atmosferici, principalmente il particolato, possano trasportare SARS-CoV-2 (vedi § 6.4) e quindi essere coinvolti nella diffusione di COVID-19. In uno studio Setti *et al.* (2020)[14], ha riportato che i virus adesi al particolato atmosferico fine possono persistere anche per molte settimane, trasportati dai movimenti legati alla circolazione atmosferica, in relazione all'umidità e all'irraggiamento solare. Il rapporto tra la presenza di particolato atmosferico e la diffusione della malattia è stato oggetto controverso di molteplici indagini effettuate da ricercatori di tutto il mondo con diversi studi su questo argomento[15]. Si segnala a riguardo anche lo studio di Dragone *et al.* (2021)[16] in cui si sono indagate le possibili correlazioni a livello regionale tra inquinamento atmosferico e focolai da COVID-19 sviluppatisi nell'area della Regione Lombardia. Tale area ha concentrato il 40% dei contagi del Paese durante la prima ondata dell'epidemia. I ricercatori per questo studio hanno confrontato i dati epidemiologici con i dati meteorologici (temperatura, umidità e velocità del vento registrati quotidianamente dalle stazioni meteorologiche) e i dati satellitari sulle concentrazioni giornaliere di inquinanti atmosferici (ossidi di azoto, monossido di carbonio e zolfo, ozono e ammoniaca).

Del resto, la correlazione tra inquinamento (particelle $PM_{2.5}$ e PM_{10}, vedi Capitolo 6) e diffusione dei virus, è nota. Il particolato atmosferico funziona da *carrier*, ovvero da vettore di trasporto, per molti contaminanti chimici e biologici, inclusi i virus. I virus si "attaccano" alle particelle solide e/o liquide — in grado di rimanere in atmosfera anche per ore, giorni o settimane — che vengono diffuse e trasportate anche per lunghe distanze. Inoltre il particolato costituisce un substrato che può permettere al virus di rimanere nell'aria in condizioni attive per un certo tempo, nell'ordine di ore o giorni. Un aumento delle temperature e della radiazione solare accresce la velocità di inattivazione del virus, mentre un'umidità relativa elevata può favorire un maggiore tasso di diffusione del virus, cioè di virulenza.

Precedenti studi avevano già mostrato correlazioni esistenti tra inquinamento dell'aria e problematiche sanitarie e che quindi la trasmissione per via aerea aveva avuto un ruolo importante come ad esempio nella trasmissione di SARS-CoV-1 e MERS-CoV e coronavirus responsabili di influenze stagionali[17].

In merito alla suscettibilità ai fattori termoigrometrici, è la particolare struttura dei virus a renderli sensibili alle temperature alte e/o molto basse, anche se di fatto sono maggiormente sensibili al calore. Il calore determina infatti la denaturazione delle strutture secondarie delle proteine del capside virale, alterando la conformazione delle proteine strutturali coinvolte nell'attacco e nella replicazione all'interno di una cellula ospite. L'inattivazione alle basse temperature è dovuta, invece, ad una degradazione casuale nell'acido nucleico[18].

Diverse pubblicazioni hanno trattato l'argomento della persistenza dei coronavirus fornendo, nel tempo, dati utili: si parla dei lavori di Lai *et al*. (2005), Kampf *et al.* (2020), Otter *et al.* (2020), van Doremalen *et al.* (2020)[19]. In questi si ribadisce che tali virus, come il SARS-CoV e il MERS-CoV, possono sopravvivere sulle superfici inanimate fino a 9 giorni in relazione alla matrice/materiale, alla concentrazione iniziale delle particelle virali, alla temperatura dell'aria e all'umidità relativa, anche se non è accertato che vi possano persistere in forma attiva. Tra i vari materiali testati, sono menzionati alcuni supporti in plastica e il cartone sui quali si rileva una maggiore persistenza dei virus.

In Italia, l'Istituto Superiore di Sanità ha a suo tempo predisposto un Gruppo di lavoro dedicato specificamente alla prevenzione e al controllo delle infezioni il quale, tra le diverse attività, si occupa anche della pubblicazione

di una serie di rapporti tecnici volti a fornire indicazioni sull'IPC (*Infection prevention and control*, prevenzione e controllo delle infezioni). Sono da segnalare, a proposito della permanenza del virus sulle superfici, il Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev.[20] e il Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020[21] che riportano indicazioni aggiornate basate sugli ultimi sudi del settore.

Nel Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev. viene riportato che [facendo riferimento allo studio comparativo di van Doremalen *et al.* (2020)[22]], in condizioni controllate di laboratorio (es. UR = 65%), il virus sembra restare infettivo sulla carta (da stampa e per fazzoletti) per periodi inferiori alle 3 h, fino a 1 giorno su legno e tessuti, 2 giorni su vetro, 4 giorni su superfici lisce quali acciaio e plastica, rimanendo fino a 7 giorni sul tessuto esterno delle mascherine chirurgiche.

Alla luce della disamina dei dati desunti dai diversi lavori e tenuto anche in considerazione il documento del Ministero della Salute del 22/05/2020, inizialmente si era ritenuto di considerare il tempo di 7 giorni come quello minimo di precauzione. Si sottolineava però che essendo le variabili esaminate non sufficienti a validare i dati ricavati dalle sperimentazioni finora condotte in campo internazionale — come del resto già espresso — e tenendo in massima considerazione le circostanze del momento nonché ispirandosi sempre al principio della massima sicurezza si invitava a considerare il tempo per l'isolamento di 10 giorni.

Nel Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020, che ha fornito ulteriori aggiornamenti citando ricerche ancora più recenti, si specifica tra l'altro: «[…] Le indicazioni riportate nel presente documento […] si basano sulle evidenze, a oggi disponibili, per quanto concerne la trasmissione dell'infezione da SARS-CoV-2, della sopravvivenza del virus su diverse superfici […].»

In particolare, si cita lo studio di Chin *et al.* (2020)[23], pubblicato ad aprile, i cui dati sono ribaditi nel documento del Ministero della Salute Direzione Generale della Prevenzione Sanitaria 0017644-22/05/2020. Il lavoro valuta la stabilità del virus a diverse temperature affermando la diminuzione esponenziale della stabilità con l'aumento della temperatura e fornendo un quadro di persistenza dell'entità biologica su alcune superfici inanimate. Per l'esattezza nello studio si è dimostrato che il virus risulta altamente stabile a 4°C, ma sensibile al calore. Con il progressivo aumento della temperatura di incubazione si è osservata una riduzione del titolo virale tanto che a 70°C, già dopo 5 minuti, il virus non era più rilevabile. Contemporaneamente è stata valutata la stabilità del virus su varie superfici e si è visto che esso su carta da stampa e velina sopravvive per soli 30 min con un decadimento completo dopo 3 h mentre su vetro persiste per 4 giorni e su plastica 7 giorni. Inoltre è stato verificato che SARS-CoV-2 è risultato estremamente stabile, a temperatura ambiente, in un'ampia gamma di valori di pH (pH 3–10).

Ulteriori studi sono stati nel frattempo pubblicati: Pastorino *et al.* (2020)[24] hanno valutato la stabilità e l'infettività di SARS-CoV-2 su polistirene, alluminio e vetro che è risultata essere di 96 h, mentre quello di Biryukov *et al.* (2020)[25] ha mostrato una emivita del virus variabile tra le 6,3 e le 18,6 h (a T = 24°C), che si riduce ad un intervallo compreso tra da 1,0 h e 8,9 h (a T = 35°C). Si conferma quindi che aumentando la temperatura l'agente patogeno diminuisce la sua stabilità. Questi risultati hanno suggerito che il potenziale di trasmissione di contagio può persistere per ore o giorni negli ambienti interni e che anche il contatto con superfici contaminate può svolgere un ruolo significativo. Biryukov propone altresì un semplice modello matematico utilizzabile per stimare il decadimento del virus su superfici non porose in

diverse condizioni (tale da essere utilizzato operativamente per identificare gli ambienti interni in cui il patogeno è più persistente).

In uno studio di Riddell *et al.* (2020)[26] (gli esperimenti tra l'altro sono stati condotti al buio per annullare qualsiasi effetto della luce UV) le superfici inoculate (banconote usate, metallo, vetro, vinile, indumenti di cotone) con una soluzione standard sono state incubate a 20°C, 30°C e 40°C e campionate a vari intervalli di tempo. Si è ottenuta una emivita compresa tra 1,7 e 2,7 giorni a 20°C, che si è ridotta a poche ore quando la temperatura è stata portata a 40°C. I dati hanno dimostrato che SARS-CoV-2 allo stadio attivo è stato recuperato da superfici comuni (come vetro, acciaio inossidabile, banconote in carta e polimeri e cotone) per un massimo di 28 giorni a 20°C e al 50% di UR. Di contro il virus infettivo è sopravvissuto a una temperatura di 40°C su varie superfici per meno di 24 h: il solo aumento della temperatura ne ha quindi ridotto drasticamente la sopravvivenza. Gli Autori hanno concluso che SARS-CoV-2 può rimanere infettivo per periodi di tempo significativamente più lunghi di quanto generalmente considerato possibile. Altro fattore evidenziato nel lavoro è che le superfici porose possono trasmettere il virus vitale per un tempo significativamente più breve rispetto alle superfici lisce poiché riescono ad intrappolare all'interno delle fibre le particelle virali. Questi risultati non interferiscono con il fatto che le principali fonti di trasmissione del coronavirus restano comunque i contatti interumani e per via aerea compresi gli aerosol. Certamente questi dati costituiscono un primo passo per una migliore comprensione dei fattori che contribuiscono alla persistenza di SARS-CoV-2 sulle superfici, dati utili per consentire una stima più accurata della valutazione del rischio rappresentato dalla contaminazione superficiale negli ambienti interni nonché le strategie di mitigazione della trasmissione.

Inoltre da citare sono le *review* di Aboubakr *et al.* (2020)[27] sulla stabilità di SARS-CoV-2 e di altri coronavirus nell'ambiente e su comuni superfici e l'influenza delle condizioni climatiche nonché quella di Ren *et al.* (2020)[28]. Quest'ultima esamina gli studi svolti [tra cui quelli di Duan *et al.* (2003) e Lai *et al.* (2005)[29]] su SARS-CoV riportando che la carta (anche se non quella usata normalmente nella manifattura dei libri) trattiene particelle virali attive per tempi che vanno da meno di 5 min a 5 giorni. Gli Autori riferiscono anche di un esperimento effettuato con carta sterilizzata, usando un inoculo virale molto concentrato, dal quale è emerso che l'infettività del virus dopo 24 h era nulla; essi concludono che la probabilità di essere infettati toccando carta contaminata è bassa. Anche in questo caso le variabili sono molte e il dato è da considerarsi relativo alle possibili condizioni utilizzate nel test.

In generale è da tenere presente che la carica virale e la vitalità di un virus diminuiscono con il passare del tempo rispetto alle condizioni termoigrometriche e al pH. Studi su altri virus simili hanno infatti dimostrato che un contatto di pochi secondi può provocare ad esempio un passaggio del patogeno dalle mani ad una superficie. Ovviamente sempre in base a ragionamenti in termini probabilistici e di carica virale.

Nell'ambito dei materiali di maggiore interesse archivistico e librario quali carta, cartone, plastica, pergamena (molto frequente nei volumi antichi) ecc., non vi sono prove di persistenza di virus, eseguite. Inoltre, la composizione di libri e documenti archivistici è corredata da materiali diversi: tessuti, metalli, mediazioni grafiche di varia composizione nonché vi sono i materali fotografici altamente compositi. Per queste categorie di materiali al momento non si conoscono i tempi di permanenza del virus in studio.

Proprio per dare una risposta mirata alle problematiche che coinvolgono

il mondo di archivi, biblioteche e musei è importante citare il progetto "REopening Archives, Libraries, and Museums (REALM)"[30], sostenuto da OCLC (Online Computer Library Center – tecnologia libraria *no-profit*, la più ampia al mondo con sede centrale Dublin – USA), dall'Institute of Museum and Library Services (agenzia indipendente del governo federale degli Stati Uniti) e da Battelle (organizzazione globale di ricerca scientifica e sviluppo senza fini di lucro). Nell'ambito di tale progetto sono stati intrapresi studi per produrre informazioni su quanto tempo può sopravvivere il virus SARS-CoV-2 sui principali materiali che si trovano in archivi, biblioteche e musei e su come i beni possono essere gestiti per mitigare l'esposizione al personale e ai visitatori.

Nella fasi iniziali del progetto sono state condotte varie indagini al fine di fornire informazioni sul tempo necessario per mettere in quarantena alcuni materiali comunemente presenti nelle biblioteche. Sono stati testati in questi primi *step* campioni di 10 tipi di materiali diversi (copertina rigida di libro, copertina di libro in brossura, copertine in pelle, pagine di carta normale all'interno di un libro chiuso, copertina del libro in plastica e custodia DVD, pagine di libri lucide, pagine di riviste ecc.) in condizioni controllate. I risultati hanno mostrato che il virus non era rilevabile già dopo 3/4 giorni di quarantena a seconda del tipo di materiale. I tests (n. 5 e n. 6 pubblicati il 19 novembre 2020) attengono i materiali comunemente collocati in biblioteche e archivi. In particolare il n. 5 coinvolge coperte di libri in cuoio naturale e sintetico oltre a tessuti naturali e sintetici. Dai dati si evince che solo sui cuoi il virus viene evidenziato fino a 8 giorni diversamente dagli altri campioni. I successivi tests n. 7 e n. 8, iniziati contemporaneamente il 5 gennaio 2021, hanno coinvolto materiali comprendenti tre tipi di coperte di libri (rigide ricoperte di tessuto-Buckram, morbide ricoperte di carta con o senza sovracoperte in polietilene e poliestere) forniti da biblioteche e archivi. Le sperimentazioni sono state condotte a basse temperature (test n. 7: 1–4°C) e a temperature più alte (test n. 8: 28–29°C) ma sempre alla stessa umidità relativa e con misurazioni effettuate a diversi intervalli temporali. I risultati hanno mostrato in genere una minore persistenza del virus alle basse temperatura rispetto a quelle più calde e a temperatura ambiente. Dopo 10 giorni nel test n. 7 la quantità di virus attivo è rimasto quasi immutato per tutti i materiali all'infuori dei volumi con copertine pesanti. In contrasto, nel test n. 8, dal sesto giorno il virus non era misurabile per tutti i materiali eccetto per le coperte in plastica. Dopo 8 giorni la presenza del virus non era più misurabile sulle plastiche. Ciò potrebbe significare la necessità di una maggiore attenzione agli ambienti più freddi. Con prove a parte è stato notato un diverso comportamento dei cuoi antichi da quelli moderni quale l'effetto citotossico dei cuoi moderni, probabilmente per la presenza di sostanze chimiche inibenti durante le fasi di lavorazione e colorazione.

Inoltre, sempre nell'ambito del REALM PROJECT, accanto all'attività del monitoraggio e revisione continua degli studi sul COVID-19 sono state spesso ospitate e riassunte le discussioni tra operatori di archivi, biblioteche e musei in merito alle lezioni apprese durante le fasi della pandemia allo scopo di preparare le istituzioni a future eventuali crisi di salute pubblica. Il 16 giugno 2022 in tre forum i partecipanti hanno condiviso le loro esperienze e intuizioni acquisite dalla pandemia, per avviare iniziative e progetti futuri che possono rafforzare la capacità e la resilienza delle istituzioni del patrimonio culturale.

Un articolo pubblicato sulla nota rivista "Nature" dal titolo "COVID-19 rarely spreads through surfaces. So why are we still deep cleaning?" (vol. 590 del 4 febbraio 2021) riassume la letteratura specializzata su questo argo-

mento puntualizzando che la più efficace arma a disposizione per abbassare la probabilità di trasmissione è la ventilazione degli ambienti pur mantenendo alto il livello di igiene personale e l'igienizzazione delle superfici; non è infatti assolutamente trascurabile il rischio di trasmissione e di contagio tramite le superfici.

Per concludere si evidenzia il lavoro di *review* di Marzoli *et al*. (2021)[31] in cui si ribadisce che il ruolo della trasmissione dalle superfici è una tematica ancora molto dibattuta. I ricercatori italiani hanno analizzato 18 studi i quali hanno evidenziato che il tempo di sopravvivenza più lungo di SARS-CoV-2 è di 28 giorni a temperatura ambiente su diverse superfici (quali vinile, acciaio, vetro e banconote in carta). Tuttavia, bassa temperatura e umidità possono aumentare la sopravvivenza del virus sulle superfici esposte — indipendentemente dal tipo di materiale — mentre la luce UV e la luce solare possono ridurla. Sebbene gli studi continuino ad indagare questo aspetto, è difficile effettuare però un confronto date le differenze metodologiche dei lavori condotti; sono necessari infatti ulteriori *trials* con protocolli definiti che possano essere di riferimento per i laboratori interessati.

14.3 Prodotti biocidi, procedure e rischi connessi

Molte notizie sono state fornite dai media circa l'utilizzo di prodotti detergenti o propriamente disinfettanti per eliminare il virus dai più svariati materiali. Una premessa da fare è che una parte dei prodotti, fra quelli già testati per la disinfezione dei materiali costitutivi i vari manufatti (cartacei, pergamenacei, fotografici ecc.) presenti in archivi e biblioteche, non sono necessariamente efficaci contro i virus.

Al fine di contrastare l'azione biodeteriogena di funghi e batteri che attaccano i beni culturali, sono stati in passato testati su carta e pergamena alcuni dei principi attivi elencati anche dall'EPA (o USEPA, Agenzia americana per la protezione dell'ambiente – United States Environmental Protection Agency, fondata nel 1970), come efficaci contro il virus. Il problema, però, è che i principi attivi, anche se di per sé innocui sui materiali, possono essere venduti in formulazioni che contengono eccipienti tali da causare danni irreversibili alle superfici; altro aspetto è che possono essere innocui solo a determinate concentrazioni.

Ciò che risulta importante ribadire è che nessun prodotto chimico può essere utilizzato sui beni senza correre il rischio di indurre danni permanenti. Questo è sufficiente a far capire quanto sia fondamentale affidarsi alle indicazioni fornite dagli esperti del settore.

Si deve poi sempre tenere presente che funghi e batteri sono organismi viventi con una struttura cellulare mentre i virus sono particelle biologicamente complesse che possono riprodursi solo se entrano in una cellula vivente. Il SARS-CoV-2 fa parte, come prima specificato, di una famiglia di virus a RNA (il genoma è costituito da una singola elica di RNA) con un involucro lipidico (membrana) intorno ad un guscio proteico di rivestimento (*envelope*) di diametro 50–200 nm ca.[32] le cui tipiche proiezioni sulla superficie (20 nm ca.) sono formate dalla glicoproteina trimerica S (*Spike*) che media il legame e l'ingresso della cellula ospite.

Proprio per via della protezione lipidica che lo caratterizza, in generale il Coronavirus è sensibile ai prodotti detergenti che sciolgono i grassi, nonché ai prodotti polari come l'alcol. I prodotti a base di etanolo e propanolo, quindi, sono in grado di disintegrare i lipidi protettivi che fanno parte della mem-

brana. Anche i disinfettanti a base di ammonio quaternario, comunemente usati nell'industria sanitaria, attaccano le strutture proteiche e lipidiche virali, disattivando la modalità di infezione dell'agente patogeno, però non sono sicuri per i materiali. La comune candeggina (ipoclorito di sodio – NaClO) e altri potenti ossidanti abbattono rapidamente i componenti essenziali del virus.

Nella tabella 14.1 sono riportate alcune delle sostanze chimiche per la disinfezione di alcuni tipi di virus e il tempo necessario di contatto del principio attivo. Tali sostanze sono state approvate dall'Agenzia americana per la protezione dell'ambiente[33], incaricata della protezione ambientale e della salute umana, all'inizio di marzo 2020. Si tratta di principi testati su carta (come biocidi di batteri e funghi).

Tabella 14.1 – Principi attivi efficaci contro diversi virus, fra cui SARS-CoV-2.

PRINCIPIO ATTIVO	VIRUS CONTRO CUI È PRESUMIBILMENTE ATTIVO	TEMPO DI CONTATTO NECESSARIO (min)
Etanolo	Calicivirus felino, Coxsackievirus, Virus dell'Epatite A, Rhinovirus, Rotavirus, Norovirus, **Coronavirus umano**.	5
Perossido di idrogeno	Virus dell'Epatite A, Calicivirus felino, Adenovirus, Poliovirus, Norovirus, Rhinovirus, Poliovirus Tipo 1.	10
Isopropanolo	Rhinovirus, **Coronavirus umano**.	5
Sali di ammonio quarternario	Rotavirus, Virus dell'Epatite A, Rhinovirus, Calicivirus felino, Norovirus, Calicivirus felino, **Coronavirus umano**.	5
Ioni d'argento	**Coronavirus umano**.	3
Ipoclorito di sodio	Rotavirus, Rhinovirus, Norovirus, Adenovirus, Rotavirus, Parvovirus canino, Virus dell'Epatite A, Poliovirus, Rhinovirus, **Coronavirus umano**.	10
Timolo*	Rhinovirus, **Coronavirus umano**.	10

L'EPA ha pubblicato un elenco di prodotti antimicrobici da utilizzare contro il SARS-CoV-2 nell'ambito di un programma di difesa da agenti patogeni virali emergenti, sviluppato proprio per il tipo di scenario che si sta avendo in questi mesi. Al riguardo di tale programma, introdotto nel 2016 e attivato per la prima volta nel 2020, i produttori di disinfettanti possono richiedere la dichiarazione di idoneità ad eliminare un particolare virus per un loro prodotto da commercializzare. Non mancano quindi sostanze attive contro il virus, quello che sicuramente manca sono sostanze chimiche attive contro il virus e innocue sui materiali librari e archivistici.

Nel momento iniziale della pandemia due trattamenti fisici hanno avuto una grande notorietà e cioè l'utilizzo dell'ozono e delle radiazioni ultraviolette.

Ozono La scoperta dell'ozono si deve al chimico Christian F. Schönbein (1799–1868) nel 1840. All'epoca, Schönbein riteneva che questa molecola fosse monoatomica e solo nel 1866 il chimico francese Jacques Soret ne dimostrò la vera forma triatomica.

L'ozono è un gas caratterizzato da un alto potenziale ossidativo di poco inferiore a quello dell'ossigeno (vedi § 6.3). Presente in natura come un gas blu dall'odore acre pungente ha una concentrazione in atmosfera di circa 0,04 ppm; si forma naturalmente nella stratosfera e in particolare nell'ozonosfera, concentrandosi a circa 25 km al di sopra del livello del mare. Si tratta di una forma allotropica dell'ossigeno e la sua molecola è formata da 3 atomi di ossigeno. L'ozono è molto instabile e tende a decomporsi ad ossigeno in maniera esplosiva; vista la sua breve emivita non può essere conservato ma deve essere prodotto *in situ* e utilizzato attraverso gli ozonizzatori, strumenti che lo generano da una corrente gassosa ricca di ossigeno.

A livello cellulare i principali effetti tossici sono riconducibili al suo potere ossidativo e quindi alla capacità di ossidare amminoacidi alterando irreversibilmente la struttura e la funzione delle proteine fino ad arrivare a determinare lesioni al DNA.

L'ozono è stato riconosciuto dal Ministero della Salute (Prot. 24482 del 31/07/1996) come presidio naturale per sanificare ambienti contaminati da batteri, virus, spore, acari; quindi può essere commercializzato e usato esclusivamente come sanificante. Per quanto riguarda specificamente l'efficacia contro il SARS-CoV-2, un'azione disinfettante è, in linea di principio, del tutto plausibile considerando i meccanismi di azione dell'ozono. Per contro, non sono disponibili al momento dimostrazioni dirette dell'efficacia ottenute in studi controllati; questa carenza di informazioni validate non è limitata all'ozono, ma è comune a diversi principi attivi in valutazione come Biocidi[34].

Da un punto di vista normativo, secondo quanto riportato dall'Agenzia europea per le sostanze chimiche – ECHA sulle caratteristiche della sostanza[35], l'ozono come biocida è soggetto al Regolamento (UE) n. 528/2012 (BPR) sui biocidi. Per tale motivo al fine di un eventuale uso come disinfettante e cioè come prodotto specificamente atto a combattere (ridurre, eliminare, rendere innocui) i microorganismi occorre attendere il completamento della valutazione.

In base al D.Lgs. 155/2010, l'ozono, essendo un inquinante ambientale, è sottoposto ai tre livelli di controllo delle soglie. Ulteriore problema è la tossicità ad alte concentrazioni di esposizione agli occhi, alle mucose, alla cute e all'apparato respiratorio (a causa dell'alterazione della permeabilità degli epiteli con riduzione della funzionalità polmonare). Pertanto la sua tossicità richiede che gli addetti alla sua applicazione siano costantemente monitorati e protetti.

Il suo utilizzo può avvenire mediante generatori che vengono correntemente promossi come dispositivi impiegabili per la sanificazione degli ambienti di lavoro. Tali dispositivi sfruttano l'elettricità (effetto corona), che di fatto, ad oggi, rappresenta il metodo più comune di produzione; un flusso di gas (aria secca oppure ossigeno) è fatto attraversare da una scarica elettrica ad alta tensione generata da un dielettrico in ceramica o vetro. La produzione è direttamente *in loco* ma sono comunque necessarie precauzioni per l'effetto irritante. Può essere utilizzato allo stato gassoso per la disinfezione di ambienti, allo stato liquido come acqua ozonizzata per superfici e materiali.

L'ozono in ambito civile non è ancora classificato come biocida e/o come presidio medico chirurgico. Esistono riserve anche sui compressori, specie nelle applicazioni di sanificazione degli ambienti come riportato anche nell'articolo sulla rivista online il Salvagente (28 ottobre 2020)[36]. Finora (nel tempo di stesura di questo testo, n.d.r.) nessun trattamento a base di gas ozono è stato validato per la disinfezione di materiale archivistico e librario, nonostante la diffusione di "armadi cosiddetti ad ozono".

Radiazioni UV Altre tipologie di trattamenti disinfettanti proposte nei confronti di materiali archivistici e librari oggetto di consultazione e/o prestito sono tornati attualmente in considerazione in questo periodo di pandemia. Infatti, laddove, sulla scia di richieste e proposte in campo medico, ospedaliero e di ambienti frequentati da comunità di persone, si ripropongono anche per i beni culturali citati trattamenti con lampade germicide. Proprio in questa fase emergenziale si sono moltiplicati in rete i pareri, spesso non corredati di sperimentazioni appropriate e mirate, che spingerebbero verso un maggiore utilizzo delle lampade UV-C nella disinfezione da SARS-CoV-2 dei beni archivistici e librari dopo la consultazione da parte degli utenti.

Le radiazioni UV-C (100–280 nm) sono la fascia a minor lunghezza d'onda tra le radiazioni UV che la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ha classificato in tre bande; possiedono potere disinfettante nei confronti di microrganismi e di virus. L'UV-C è noto come germicida poiché produce i cosiddetti "dimeri di pirimidina" nell'RNA e nel DNA dei virus e delle cellule provocando la fusione fotochimica di due basi azotate (pirimidine) adiacenti (Perdiz *et al.*, 2000)[37]. Alcuni studi riportano l'inattivazione di SARS-CoV-1 a diverse irradianze ($\mu W/cm^2$) e a diverso tempo di esposizione [Duan *et al.* (2003), Darnell *et al.* (2004)][38]. Le lampade germicide vengono utilizzate in vari ambiti e attività, anche se il loro uso dovrebbe essere attuato con la massima cautela per i possibili danni alle persone. Le radiazioni UV-C (lunghezza d'onda 254 nm), riducono il numero di microrganismi e dei virus sulle superfici che sono direttamente o indirettamente esposte, fermo restando che le aree nascoste non possono essere raggiunte dalle radiazioni.

Ad oggi gli studi di riferimento nel campo della conservazione e tutela dei beni culturali, mostrano una linea molto restrittiva sull'utilizzo di queste lampade e citano come esempio una sperimentazione condotta da Andersen *et al.* (2006)[39]. Tale studio ha previsto l'irraggiamento, in un'area sanitaria di circa 20 m^2, per un tempo non inferiore a 40 min corrispondente alla dose di 160 j/m^2.

Un lavoro del 2020[40] illustra l'efficacia di lampade UVC alla lunghezza d'onda di 222-nm UVC nei confronti di contaminazione di superfici da SARS-CoV-2 nel corso di esperimenti *in vitro*, ma conferma anche la necessità di ulteriori prove in ambienti reali per testarne la migliore sicurezza ed efficacia. Lo studio è stato condotto su questa lunghezza d'onda in quanto il potere di penetrazione di tali raggi UV sulle mucose e nell'occhio è ridotto rispetto a quelle a λ 254 nm, quindi risulterebbero meno pericolose pur mantenendo una efficacia germicida ancora alta. Per la sperimentazione si è utilizzata una lampada ad eccimeri Kr-Cl posta a 24 cm dalla superficie del campione infetto con un'irradiazione di 0,1 mW/cm^2. Gli Autori affermano che una sorgente di disinfezione di 222-nm UVC potrebbe essere utilizzata in spazi occupati da persone perché sono radiazioni meno penetranti di quelle a 254 nm; sono necessarie però ulteriori indagini che confermino tale risultato.

Alla luce di quanto esposto, in assenza di studi approfonditi necessari a verificare scientificamente l'efficacia dei trattamenti e gli effetti sui diversi materiali, risulta assolutamente sconsigliato, ad oggi, sottoporre qualsiasi materiale archivistico e librario a irraggiamenti singoli o ripetuti per il rischio di danni a breve e lungo termine sui molteplici costituenti materici dei beni e, principalmente, per il rischio non ponderato di tipo sanitario.

Come già riferito nella nota M*i*BACT IC-RCPAL|05/05/2020|0000672-I|[25.16.01/3/2020][41], secondo l'Istituto Centrale per la Patologia degli Archivi e del Libro non è consigliabile in alcun modo il ricorso alle radiazioni UV.

14.4 La risposta all'emergenza

Nella risposta all'emergenza da parte degli addetti del mondo delle biblioteche, degli archivi, dei musei e dei vari luoghi di conservazione dei beni sulla base fornita dagli esperti delle varie nazioni, sono stati considerati i dati riguardanti la sopravvivenza del virus sulle superfici e le evidenze tecnico-scientifiche disponibili sui metodi di disinfezione proposti in questo contesto. Anche se la tabella di valutazione del rischio validata dal comitato tecnico dell'INAIL attribuisce ai luoghi deputati alla cultura un rischio definito basso, le istituzioni sia in Italia che all'estero si sono comunque attivate per fornire istruzioni e raccomandazioni generali al fine di affrontare le problematiche emerse nel corso di questa crisi emergenziale.

Poiché la principale via di trasmissione del virus è legata all'emissione di *droplets*, per abbattere la loro infettività è fondamentale attuare una corretta manipolazione e un "isolamento" temporaneo dei beni al fine di garantire la neutralizzazione della carica virale sui materiali. Questa modalità va coniugata all'utilizzo di sostanze idonee in grado di neutralizzare il virus e ciò riguarda naturalmente la corretta igiene, base per ogni attività di prevenzione.

La manipolazione dei materiali conservati in archivi e biblioteche deve seguire prassi consolidate, anche se di fatto non è stata oggetto di trattazione nel presente testo. Sopratutto quella dei materiali fotografici richiede una cura ed una attenzione particolare per via dello strato immagine delicato e complesso. In generale uno strumento di supporto riguardo questa tematica possono essere le indicazioni: "Linee guida per la manipolazione/movimentazione dei documenti fotografici" (2014)[42], rintracciabili nel sito dedicato alla conservazione delle collezioni fotografiche dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione – MiC.

In ambito internazionale il Northeast Document Conservation Center (NEDCC) è stato uno dei primi a raccomandare di mettere in isolamento i manufatti dopo la manipolazione da parte di personale e visitatori. Nel caso in cui non fosse possibile creare uno spazio dedicato alla quarantena, i materiali potevano essere inseriti in involucri fino al termine del periodo di isolamento in modo da evitare qualsiasi manipolazione accidentale. Inoltre è stato consigliato di non sigillare ermeticamente le buste per non creare microclimi potenzialmente dannosi. Quasi tutte le istituzioni nel mondo hanno comunque delineato indicazioni in merito alla gestione di questa emergenza, indicazioni diversificate come le biblioteche irlandesi che hanno inizialmente prodotto linee guida che suggerivano un'attesa di 72 ore, l'Australian Library and Information Association 24 ore mentre il governo ceco 48 ore. La Slovacchia ha suggerito almeno 5 giorni di attesa, l'Argentina 2 settimane, la Francia 10 giorni per i materiali plastificati e 72 ore per la carta.

Alcune di queste linee guida sono state nel tempo allentate, sulla base sia delle prove emergenti sia dei tassi ridotti di prevalenza del virus. La risposta è stata quindi variegata.

In Italia, come del resto negli altri Paesi, nell'ambito delle misure di contenimento del rischio di contagio da Covid-19 sono state fornite linee guida emanate dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo, oggi Ministero della Cultura (pubblicazione del 23 aprile 2020 e aggiornamento con documento del 29 maggio)[43] specifiche nel raccomandare un certo numero di giorni di isolamento del materiale consultato, tempo che alla luce di nuovi studi condotti in ambito internazionale hanno subito alcune variazioni.

Note bibliografiche

[1] WHO, *Naming the Coronavirus Disease (COVID-19) and the Virus that Causes it*, World Health Organization, 2020, da: https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it (consultato il 10/11/2022).

[2] F. Carraturo, C. Del Giudice, M. Morelli, V. Cerullo, G. Libralato, E. Galdiero, M. Guida, *Persistence of SARS-CoV-2 in the environment and COVID-19 transmission risk from environmental matrices and surfaces*, in *Environmental Pollution*, 265 (PtB), 115010, 2020, DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115010, PMID: 32570023.

[3] H. Eslami, M. Jalili, *The role of environmental factors to transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19)*, in *AMB Express*, 10, 92, 2020, DOI: 10.1186/s13568-020-01028-0, PMID: 32415548.

[4] J. Hayes, *The great book scare*, in *Smithsonian Magazine*, August 23, 2019, da: https://www.smithsonianmag.com/history/during-great-book-scare-people-worried-contaminated-books-could-spread-disease-180972967/ (consultato il 10/11/2022).

[5] C. Hawks, K. Makos, *Inherent and acquired hazards in museum objects. Implications for care and use of collections*, in *CRM*, 5, 2000, pp. 31–37.

[6] C.T. Ambrose, *Osler and the infected letter*, in *Emerging Infectious Diseases*, 11, 5, 2005, pp. 689–693, DOI:10.3201/eid1105.040616, PMID: 15890120.

[7] S.J. Olsen, H.-L. Chang, T.Y.-Y. Cheung, A.F.-Y. Tang, T.L. Fisk, S.P. Ooi, S.P.-L. Ooi, H.-W. Kuo, D.D.-S. Jiang, K.-T. Chen, J. Lando, K.-H. Hsu, T.-J.Chen, S.F. Dowell, *Transmission of the severe acute respiratory syndrome on aircraft*, in *The New England Journal of Medicine*, 349, 25, 2003, pp. 2416–2422, DOI: 10.1056/NEJMoa031349, PMID: 14681507.

[8] D. Radun, M. Niedrig, A. Ammon, K. Stark, *SARS: retrospective cohort study among german guests of the Hotel "M", Hong Kong*, in *Euro Surveillance*, 8, 12, 2003, pp. 228–230, DOI: 10.2807/esm.08.12.00436-en, PMID: 14724331.

[9] K.R. McKinney, Y.Y. Gong, T.G. Lewis, *Environmental transmission of SARS at Amoy Gardens*, in *Journal of Environmental Health*, 68, 9, 2006, pp. 26–30, PMID:16696450.

[10] T.F. Booth, B. Kournikakis, N. Bastien, J. Ho, D. Kobasa, L. Stadnyk, Y. Li, M. Spence, S. Paton, B. Henry, B. Mederski, D. White, D.E. Low, A. McGeer, A. Simor, M. Vearncombe, J. Downey, F.B. Jamieson, P. Tang, F. Plummer, *Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus*, in *Journal Infectious Diseases*, 191, 9, 2005, pp. 1472–1477, DOI: 10.1086/429634, PMID: 15809906.

[11] G. Tarsitani, C. Fusillo, O. Micali, C. Moroni, R. Montacutelli, *Contamination microbiologique du livre et risque pour les lecteurs, Biodétérioration et désinfection des collections d'archives et de bibliothèques*, in *Actes des deuxièmes journées sur la conservation préventive, Arles, 18 et 19 novembre 1996*, Centre de Conservation du livre, 1999, pp. 56-63.

[12] G.U. Lopez, C.P. Gerba, A.H. Tamimi, M. Kitajima, S.L. Maxwell, J.B. Rose, *Transfer efficiency of bacteria and viruses from porous and nonporous fomites to fingers under different relative humidity conditions*, in *Applied Environmental Microbiology*, 79, 18, 2013, pp. 5728–5734, DOI:10.1128/AEM.01030-13, PMID: 23851098.

[13] K.H. Chan, J.S. Malik Peiris, S.Y. Lam, L.L.M. Poon, K.Y. Yuen, W.H. Seto, *The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS Coronavirus*, in *Advances in Virology*, vol. 2011, ID, 734690, DOI:10.1155/2011/734690, PMID: 22312351.

[14] L. Setti, F. Passarini, G. De Gennaro, P. Barbieri, M.G. Perrone, M. Borelli, J. Palmisani, A. Di Gilio, V. Torboli, F. Fontana, L. Clemente, A. Pallavicini, M. Ruscio, P. Piscitelli, A. Miani, *SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: first evidence*, in *Environmental Research*, 188, 2020, DOI:10.1016/j.envres.2020.109754, PMID: 32526492.

[15] M. Marquès, J. Rovira, M. Nadal, J.L. Domingo, *Effects of air pollution on the potential transmission and mortality of COVID-19: a preliminary case-study in Tarragona Province (Catalonia, Spain)*, in *En-*

vironmental Research, vol. 192, august 2020, DOI: 10.1016/j.envres.2020.109650, PMID: 33058813; L. Setti, F. Passarini, G. De Gennaro, P. Barbieri, S. Licen, M.G. Perrone, A. Piazzalunga, M. Borelli, J. Palmisani, A. Di Gilio, E. Rizzo, A. Colao, P. Piscitelli, A. Miani, *Potential role of particulate matter in the spreading of COVID-19 in Northern Italy: first observational study based on initial epidemic diffusion*, in *BMJ Open*, 10, 9, 2020, DOI: 10.1136/bmjopen-2020-039338, PMID: 32973066; S. Lolli, Y.C. Chen, S.H. Wang, G. Vivone, *Impact of meteorological conditions and air pollution on COVID-19 pandemic transmission in Italy*, in *Scientific Reports*, 10, 16213, 2020, DOI:10.1038/s41598-020-73197-8; M. Travaglio, Y. Yu, R. Popovic, L. Selley, N.S. Leal, L.M. Martins, *Links between air pollution and COVID-19 in England*, in *Environmental Pollution*, vol. 268, Part A, 115859, 2021, DOI: org/10.1016/j.envpol.2020.115859, PMID: 33120349.

[16] R. Dragone, G. Licciardi, G. Grasso, C. Del Gaudio, J. Chanussot, *Analysis of the Chemical and Physical Environmental Aspects that Promoted the Spread of SARS-CoV-2 in the Lombard Area*, in *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 18, 3, 2021, 1226; DOI:10.3390/ijerph18031226.

[17] Y. Cui, Z.-F. Zhang, J. Froines, J. Zhao, H. Wang, S.-Z. Yu, R. Detels, A*ir pollution and case fatality of SARS in the People's Republic of China: an ecologic study*, in *Environmental Health*, 2, 1, 15, 2003, DOI:10.1186/1476-069X-2-15; I.T.S. Yu, Y. Li, T.W. Wong, W. Tam, A.T. Chan, J.H.W. Lee, D.Y.C. Leung, T. Ho, *Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus*, in *The New England Journal of Medicine*, 350, 17, 2004, pp. 1731–1739, DOI:10.1056/NEJMoa032867, PMID: 15102999; M.D. Christian, M. Loutfy, L.C. McDonald, K.F. Martinez, M. Ofner, Tom Wong, T. Wallington, W.L. Gold, B. Mederski, K. Green, D.E. Low, SARS Investigation Team, *Possible SARS coronavirus transmission during cardiopulmonary resuscitation*, in *Emerging Infectious Diseases*, 10, 2, 2004, pp. 287–293, DOI:10.3201/eid1002.030700, PMID: 15030699; J.A. Otter, C. Donskey, S. Yezli, S. Douthwaite, S.D. Goldenberg, D.J. Weber, *Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: The possible role of dry surface contamination*, in *The Journal of Hospital Infection*, 2016, 92, 3, 2016, pp. 235–250, DOI: 10.1016/j.jhin.2015.08.027, PMID: 26597631; G. Chen, W. Zhang, S. Li, Y. Zhang, G. Williams, R. Huxley, H. Ren, W. Cao, Y. Guo, *The impact of ambient fine particles on influenza transmission and the modification effects of temperature in China: A multi-city study*, in *Environment International*, 98, 2017, pp. 82–88, DOI:10.1016/j.envint.2016.10.004, PMID: 27745688.

[18] H.A. Aboubakr, T.A. Sharafeldin, S.M. Goya, *Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: a review*, in *Transboundary and Emerging Diseases*, 2020, DOI: 10.1111/tbed.13707.

[19] M.Y.Y. Lai, P.K.C. Cheng, W.W.L. Lim, *Survival of severe acute respiratory syndrome coronavirus*, in *Clinical Infectious Diseases*, 41, 7, 2005, pp. 67–71, DOI: 10.1086/433186, PMID: 16142653; J.A. Otter, C. Donskey, S. Yezli, S. Douthwaite, S.D. Goldenberg, D.J. Weber, *Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination*, in *The Journal of Hospital Infection*, 92, 3, 2016, pp. 235–250, DOI: 10.1016/j.jhin.2015.08.027, PMID: 26597631; G. Kampf, D. Todt, S. Pfaender, E. Steinmann, *Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents*, in *The Journal of Hospital Infection*, 104, 3, 2020, pp. 246–251, DOI:10.1016/j.jhin.2020.01.022, PMID: 32035997; N. van Doremalen, T. Bushmaker, D.H. Morris, M. Holbrook, A. Gamble, B. Williamson, A. Tamin, J. Harcourt, N. Thornburg, S. Gerber, J. Lloyd-Smith, E. de Wit, V. Munster, *Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1*, in *New England Journal of Medicine*, 382, 16, 2020, pp. 1564–1567, DOI: 10.1056/NEJMc2004973, PMID: 32182409.

[20] Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'Aria *Indoor*, *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2*, Versione del 21 aprile 2020, Roma, Istituto Superiore di Sanità, 2020 (Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev. 2).

[21] Gruppo di Lavoro ISS Biocidi COVID-19, *Raccomandazioni ad interim sulla sanificazione di strutture non sanitarie nell'attuale emergenza COVID-19: superfici, ambienti interni e abbigliamento,*

Versione del 15 maggio 2020, Roma, Istituto Superiore di Sanità, 2020 (Rapporto ISS COVID-19 n. 25/2020).

[22] van Doremalen *et al.* 2020, *op. cit.*

[23] A.W.H. Chin, J.T.S. Chu, M.R.A. Perera, K. P.Y. Hui, H.L. Yen, M.C.W. Chan, M. Peiris, L.L.M. Poon, S*tability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions*, in *The Lancet Microbe*, 2020, 1(1):e10, DOI: 10.1016/S2666-5247(20)30003-3, PMID: 32835322.

[24] B. Pastorino, F. Touret, M. Gilles, X. de Lamballerie, R.N. Charrel, *Prolonged infectivity of SARS-CoV-2 in fomites*, in *Emerging Infectious Diseases,* 26, 9, 2020, pp. 2256–2257, DOI: 10.3201/eid2609.201788, PMID: 32579874.

[25] J. Biryukov, J.A. Boydston, R.A. Dunning, J.J. Yeager, S. Wood, A.L. Reese, A. Ferris, D. Miller, W. Weaver, N.E. Zeitouni, A. Phillips, D. Freeburger, I. Hooper, S. Ratnesar-Shumate, J. Yolitz, M. Krause, G. Williams, D.G. Dawson, A. Herzog, P. Dabisch, V. Wahl, M.C. Hevey, L.A. Altamura, *Increasing temperature and relative humidity accelerates inactivation of SARS-CoV-2 on surfaces*, in *mSphere*, 5, 4, 2020, e00441-20, DOI: 10.1128/mSphere.00441-20, PMID: 32611701.

[26] S. Riddell, S. Goldie, A. Hill, D. Eagles, T.W. Drew, *The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surface*s, in *Journal Virology*, 17, 1, 145, 2020, DOI: 10.1186/s12985-020-01418-7, PMID: 33028356.

[27] H.A. Aboubakr *et al.*, 2020.

[28] S.-Y. Ren, W.-B. Wang, Y.-G. Hao, H.-R. Zhang, Z.-C. Wang, Y.-L. Chen, R.-D. Gao, in *Stability and infectivity of coronaviruses in inanimate environments,* in *World Journal Clinical Cases*, 8, 8, 2020, pp. 1391–1399, DOI:10.12998/wjcc.v8.i8.1391, PMID: 32368532.

[29] S.M. Duan, X.-S. Zhao, R.-F. Wen, J.-J. Huang, G.-H. Pi, S.-X. Zhang, J. Han, S.-L. Bi, L. Ruan, X.-P. Dong, SARS Research Team, *Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation*, in *Biomedical and Environmental Sciences*, 16, 3, 2003, pp. 246–255, PMID: 14631830; Lai *et al.* 2005, *op. cit.*

[30] OCLC, *REopening Archives, Libraries, and Museums (REALM)*, da: https://www.oclc.org/realm/home.html (consultato il 10/11/2022).

[31] F. Marzoli, A. Bortolami, A. Pezzuto, E. Mazzetto, R. Piro, C. Terregino, F. Bonfante, S. Belluco, *A systematic review of human coronaviruses survival on environmental surfaces*, in *Science of the Total Environment*, vol. 778, 15 July 2021, 146191, Mar 3, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146191, Epub 2021.

[32] N. Chen, M. Zhou, X. Dong, J. Qu, F. Gong, Y. Han, Y. Qiu, J. Wang, Y. Liu, Y. Wei, J. Sia, T. You, X. Zhang, L. Zhang, *Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study*, in *The Lancet*, 395 (10223), 2020, pp. 507–513, DOI:10.1016/S0140-6736(20)30211-7, PMID: 32007143.

[33] EPA – United States Environmental Protection Agency, *About List N: Disinfectants for Coronavirus (COVID-19)*, da: https://www.epa.gov/pesticide-registration/list-n-disinfectants-coronavirus-covid-19 (consultato il 10/11/2022).

[34] Gruppo di lavoro ISS-INAIL, *Focus on: utilizzo professionale dell'ozono anche in riferimento al COVID-19*, Versione del 23 luglio 2020, Roma, Istituto Superiore di Sanità; 2020 (Rapporto ISS COVID-19 n. 56/2020).

[35] ECHA – European Chemicals Agency, *Substance Infocard. Ozone*, da: https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.030.051(consultato il 10/11/2022).

[36] E. Cinotti, *I rischi e i dubbi sull'efficacia del trattamento con l'ozono*, in *il Salvagente*, 28 aprile 2020, da: https://ilsalvagente.it/2020/04/28/i-rischi-e-i-dubbi-sullefficacia-del-trattamento-con-lozono/ (consultato il 18/06/2022).

[37] D. Perdiz, P. Gróf, M. Mezzina, O. Nikaido, E. Moustacchi, E. Sage, *Distribution and repair of bipyrimidine photoproducts in solar UV-irradiated mammalian cells. Possible role of Dewar photoproducts in solar mutagenesis*, in J*ournal of Biological Chemistry*, 275, 35, 2000, pp. 26732–26742, DPO:10.1074/jbc.M001450200, PMID: 10827179.

[38] S.M. Duan *et al.* 2000, *op. cit.*; M.E.R. Darnell,

K. Subbarao, S.M. Feinstone, D.R. Taylor, *Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV*, in *Journal of Virological Methods*, 121, 1, 2004, pp. 85–91, DOI: 10.1016/j.jviromet.2004.06.006, PMID: 15350737.

[39] B.M. Andersen, H. Bånrud, E. Bøe, O. Bjordal, *Comparison of UV C light and chemicals for disinfection of surfaces hospital isolation units*, in *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 27, 7, 2006, pp. 729–734, DOI: 10.1086/503643, PMID: 16807849.

[40] H. Kitagawa, T. Nomura, T. Nazmul, K. Omori, N. Shigemoto, T. Sakaguchi, H. Ohge, *Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination*, in *American Journal of Infection Control*, Sept 4, 2020, DOI: 10.1016/j.ajic.2020.08.022, PMID: 32896604.

[41] ICPAL, *Linee guida per la gestione delle operazioni di sanificazione e disinfezione degli ambienti di Archivi e Biblioteche – Misure di contenimento per il rischio di contagio da Coronavirus (COVID-19),* MiBACT, Istituto Centrale per la Patologia degli Archivi e del Libro, 2020, da: https://dger.beniculturali.it/wp-content/uploads/2020/05/7535906Linee-Guida.pdf-ICRCPAL.pdf (consultato il 10/11/2022).

[42] D.S. Palazzi, D. Matè, *Linee guida per la manipolazione/movimentazione dei documenti fotografici*, Gruppo di lavoro ICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, luglio 2014, da: http://www.iccd.beniculturali.it/it/documenti-approfondimenti (consultato il 10/11/2022).

[43] ICPAL 2020, *op. cit.*

Profilo Autori

Marianna Adamo
Biologa, ha lavorato come Ricercatrice presso l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA C.R. Casaccia, nell'Unità Tecnico-Scientifica FSN. Ha svolto attività di ricerca, occupandosi principalmente delle tecniche di irraggiamento applicabili in ambito biologico, nel settore trasversale dell'Ente sviluppato nel campo dello studio e della conservazione del patrimonio culturale. I suoi studi sono stati rivolti in particolare alla possibilità di utilizzare le radiazioni gamma per la disinfezione e disinfestazione di materiale archivistico-librario, compreso quello fotografico, soprattutto in casi di calamità naturali. Ha collaborato con istituzioni nazionali e internazionali ed è autrice di numerose pubblicazioni scientifiche.

Barbara Cattaneo
Restauratrice di materiali fotografici e librari presso l'Opificio delle Pietre Dure (OPD) e precedentemente presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze (BNCF), è laureata in Scienze dei Beni Culturali e Scienze Archivistiche e Biblioteconomiche. Le esperienze di formazione più importanti sono state presso il Trinity College di Dublino, la George Eastman House di Rochester (N.Y.), ICCROM, NRICPT (Tobunken) a Tokyo e i corsi del The Getty Conservation Institut a Budapest e a Praga. Insegna Restauro fotografico presso le SAFS (Scuole di Alta Formazione e Studio) di OPD e ICPAL ed è docente a contratto di Storia e conservazione delle tecniche fotografiche all'Università degli Studi di Firenze.

Massimo Cristofaro
Biologo, Ricercatore nel campo dell'entomologia applicata presso l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA C.R. Casaccia, nell'Unità Tecnico-Scientifica SSPT-BIOAG-PROBIO, dove svolge attività nel campo della lotta biologica e integrata ad artropodi e a piante infestanti dannose all'agricoltura, all'ambiente e alla salute dell'uomo. È socio fondatore della Fondazione "Biotechnology and Biological Control Agency" (BBCA-onlus). Membro dell'Accademia Nazionale di Entomologia, insegna Entomologia Applicata alla Sapienza Università di Roma. Collabora con università ed istituti di ricerca nazionali e internazionali ed è autore di numerose pubblicazioni scientifiche.

Federica Delia
Restauratrice libera professionista, è laureata in Conservazione e Restauro dei Beni Archivistici e Librari e in Archivistica e Biblioteconomia. Si è specializzata in restauro della fotografia attraverso corsi di aggiornamento professionali a livello nazionale e internazionale. Lavora per archivi, biblioteche, musei e collezioni private e insegna presso l'Accademia di Belle Arti di Roma. Tra gli altri ha collaborato con l'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, la Biblioteca Nazionale Centrale di Roma, la Bibliotheca Hert-

ziana, la Cineteca Nazionale, il Palazzo delle Esposizioni, la Quadriennale di Roma e la Società Geografica Italiana. Membro dell'International Committee for Museums (ICOM), dal 2017 coordina la Commissione Conservazione di ICOM Italia.

Donatella Matè
Biologa, ha lavorato presso il Laboratorio per la Conservazione Preventiva dell'Istituto Centrale per la Patologia degli Archivi e del Libro (ICPAL) e precedentemente presso il Laboratorio di Biologia del Centro di Fotoriproduzione Legatoria e Restauro degli Archivi di Stato (CFLR). Esperta di biodeterioramento e conservazione preventiva dei beni fotografici, insegna presso la Scuola di Alta Formazione e Studio ICPAL Conservazione delle fotografie, nell'ambito del s.s.d. ING-IND/11. È autrice di numerose pubblicazioni scientifiche e testi divulgativi su tematiche inerenti i beni fotografici.

Alberto Novo
Chimico. Ha lavorato come Ricercatore presso l'ENEL e successivamente all'ENEA – Ricerca sul Sistema Energetico (RSE) di Milano, interessandosi di tematiche ambientali. Attento da molti anni agli aspetti tecnici e storici della fotografia, dal 2008 è presidente del Gruppo Rodolfo Namias, associazione di fotografi che praticano correntemente le antiche tecniche di stampa.

Flavia Pinzari
PhD, è una biologa specializzata in micologia, ecologia microbica e microbiologia applicata. Esperta di biodeterioramento di carta e pergamena è autrice di più di settanta articoli su riviste scientifiche indicizzate. Attualmente è Primo Ricercatore presso l'Istituto dei Sistemi Biologici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e Scientific Associate presso il Natural History Museum (London, UK). È stata Ricercatrice presso il Consiglio Italiano per la Ricerca in Agricoltura (CRA), Biologa Coordinatrice presso l'ICPAL, Responsabile del Laboratorio di Biologia dell'ICPAL e Vice Direttore della Scuola Universitaria di Restauro dei Beni Culturali. Fa parte del Consiglio del Centro Europeo di Ricerca per la Conservazione e il Restauro del Libro e della Carta e del Consiglio della International Biodeterioration and Biodegradation Society.

Luciana Rossi
Chimico, ha diretto il Laboratorio di Conservazione e Restauro del Museo Nazionale Preistorico Etnografico "L. Pigorini", coordinato e progettato le attività conservative sulle collezioni del Museo. Ha approfondito gli studi sulla conservazione preventiva dei materiali fotografici storici e sui metodi di stabilizzazione di manufatti lignei e in fibre vegetali provenienti da siti subacquei. Ha lavorato nel Laboratorio Chimico dell'Istituto Centrale di Patologia del Libro (oggi ICPAL), nell'ambito della ricerca applicata allo studio degli effetti dei trattamenti di deacidificazione (acquosa e non) sui materiali cartacei. Numerose pubblicazioni di argomento conservativo, diagnostico e di intervento documentano la sua esperienza lavorativa.

Maria Carla Sclocchi
Biologa specializzata in micologia, ecologia microbica e microbiologia applicata al biodeterioramento dei beni culturali cartacei, membranacei, fotografici e cinematografici. È autrice di numerosi articoli su riviste scientifiche indicizzate e di saggi pubblicati su volumi a carattere scientifico. Ha lavorato presso il Laboratorio di Biologia del Centro di Fotoriproduzione Legatoria e Restauro degli Archivi di Stato (CFLR) e successivamente come Biologa Coordinatrice e Responsabile del Laboratorio di Biologia presso l'Istituto Centrale per la Patologia degli Archivi e del Libro (ICPAL). Insegna presso la Scuola di Alta Formazione e Studio ICPAL discipline afferenti al modulo di BIO/03. È associata, con incarico di Collaboratore Senior, presso l'Istituto dei Sistemi Biologici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). È socia dell'International Biodeterioration and Biodegradation Society.

Pasquale Trematerra
Professore Ordinario di Entomologia Generale e Applicata presso l'Università degli Studi del Molise è referente scientifico dei Ministeri dell'Ambiente, dell'Agricoltura e della Salute, del CNR e del CREA ed esperto presso l'UE, la FAO e l'UNIDO. I principali filoni delle sue attività di ricerca si riferiscono a osservazioni bio-etologiche utili per la messa a punto di metodi innovativi nella difesa delle piante, dei prodotti agricoli e delle derrate dagli attacchi di insetti dannosi. Attualmente fa parte del Consiglio direttivo di: Associazione Italiana per la Protezione delle Piante (AIPP), International Organization for Biological Control (IOBC), Societas Europaea Lepidopterologica (SEL). Inoltre è vice-Presidente dell'Associazione Italiana per la Protezione delle Piante (AIPP), convenor del Working Group on Integrated Protection of Stored Products (IOBC), componente della Commissione MIPAAF agricoltura biologica e del Comitato permanente dell'International Working Conference on Stored Products Protection (IWCSPP). È autore di numerose pubblicazioni scientifiche e testi divulgativi in cui si affrontano anche temi di entomologia merceologica e urbana.

Elena Verticchio
Laureata in Scienze e Tecnologie per la Conservazione dei Beni Culturali LM-11 ha conseguito un dottorato presso Sapienza Università di Roma al Dipartimento di Scienze della Terra. Il suo progetto di ricerca è dedicato alla conservazione preventiva delle collezioni archivistiche e librarie attraverso lo studio delle condizioni microclimatiche sia misurate che simulate. Ha collaborato con l'ICR ed effettuato tirocini presso la Polish Academy of Sciences di Cracovia, l'Universitat Politécnica di Valéncia, la British Library e i London Metropolitan Archives. Nel periodo formativo all'ICRCPAL (2018) ha affrontato tematiche della gestione del rischio ambientale per le collezioni fotografiche.

Ringraziamenti

Ringrazio Dusan Stulik e Gaël de Guichen per aver partecipato a questa iniziativa. Stulik per la presentazione del testo e de Guichen per l'introduzione sulla disciplina della conservazione preventiva.

Vorrei ringraziare, per la gentile collaborazione prestata nell'esecuzione di alcune riprese fotografiche allo stereomicroscopio, Sergio Lucretti (ENEA – SSPT-BIOAG-BIOTEC C.R. Casaccia), Carlo Tronci (ENEA – BIOAG-SOQUAS C.R. Casaccia), Marta Piscitelli (ENEA – SSPT-TECS C.R. Casaccia), Alessandra Paolini e Alessandra La Marca della Fondazione "Biotechnology and Biological Control Agency", BBCA-onlus e Vittorio Bianchi Matè.

Un ulteriore ringraziamento va a Pierluigi Manzone per le immagini che si riferiscono alle sezioni stratigrafiche di alcune stampe fotografiche e a Daniela Ferro della Sapienza, Università di Roma, per le immagini al SEM.

Un'espressione di gratitudine va, infine, ad Andrea Galeazzi che ha creduto nel progetto di una seconda edizione dedicata alla conservazione preventiva delle collezioni fotografiche.