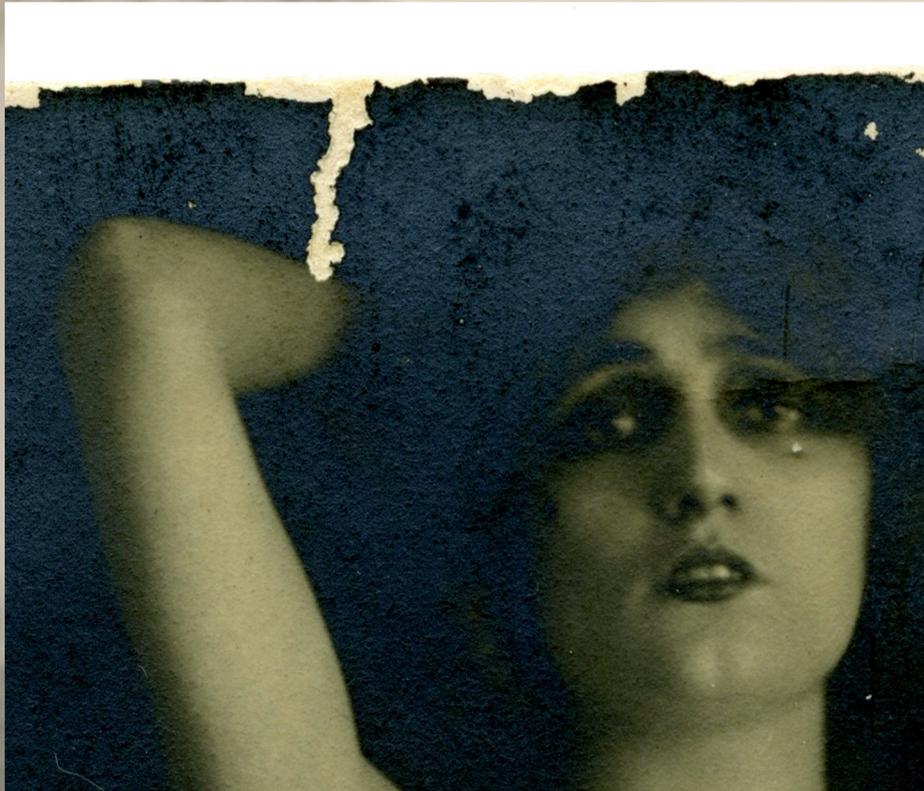


ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



SULLE FOTOGRAFIE DANNEGGIATE Gestione degli organismi infestanti

a cura di: Marianna Adamo, Donatella Matè, Pasquale Trematerra

Sulle fotografie danneggiate
Gestione degli organismi infestanti

A cura di Marianna Adamo, Donatella Matè, Pasquale Trematerra

Presentazione di David Pinniger

2015 ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile

Lungotevere Thaon di Revel, 76

00196 ROMA

ISBN: 978-88-8286-311-1

SULLE FOTOGRAFIE DANNEGGIATE

Gestione degli organismi infestanti

A cura di Marianna Adamo, Donatella Matè, Pasquale Trematerra

Presentazione di David Pinniger

Il testo fornisce informazioni di carattere generale sulle specie animali (principalmente insetti e roditori) che con maggiore frequenza si rintracciano negli ambienti di conservazione delle fotografie e sui danni che essi possono arrecare. Una parte è dedicata alle metodologie e alle strategie di prevenzione nonché ai diversi metodi di lotta capaci di limitare le infestazioni.

Sono trattate anche le varie tipologie di tecniche fotografiche e delineate le problematiche del restauro conservativo utili ad arginare gli effetti del deterioramento.

Alla realizzazione dell'opera hanno contribuito diversi Autori, specialisti in vari campi disciplinari della biologia applicata e delle attività di studio interessate alla valorizzazione, conservazione, tutela e fruizione dei beni culturali.

Presentazione di:

David Pinniger

Contributi di:

*Marianna Adamo, Dario Capizzi, Barbara Cattaneo,
Ubaldo Cesareo, Massimo Cristofaro, Federica Delia,
Donatella Matè, Luciano Santini, Pasquale Trematerra*

Indice

Presentazione <i>di David Pinniger</i>	9
---	---

Introduzione	11
---------------------	----

PARTE GENERALE

Capitolo I

I danni da Insetti	15
---------------------------	----

Marianna Adamo, Donatella Matè, Pasquale Trematerra

1.1 Generalità sugli Insetti	15
-------------------------------------	----

1.2 Le specie più diffuse e le tipologie di danno	17
--	----

1.2.1 <i>Thysanura</i>	17
------------------------	----

1.2.2 <i>Psocoptera</i>	24
-------------------------	----

1.2.3 <i>Blattodea</i>	25
------------------------	----

1.2.4 <i>Isoptera</i>	32
-----------------------	----

1.2.5 <i>Coleoptera</i>	35
-------------------------	----

Capitolo 2

I danni da Roditori	43
----------------------------	----

Dario Capizzi, Luciano Santini

2.1 Le specie dannose più diffuse	43
--	----

2.2 Tipologie di danno	47
-------------------------------	----

Capitolo 3

Aspetti di conservazione preventiva	53
--	----

Massimo Cristofaro, Donatella Matè

3.1 Sistemi di prevenzione e controllo degli infestanti	54
--	----

3.2 Azioni di conservazione preventiva	57
---	----

3.2.1 Monitoraggio e controllo ambientale	57
---	----

3.2.1.a I fattori abiotici - ambientali di influenza sugli insetti	59
--	----

3.2.1.b Valori termoigrometrici per la conservazione dei materiali fotografici	62
--	----

3.2.2 Predisposizione di alloggiamenti a norma	64
--	----

3.2.3 Attività ispettive	65
--------------------------	----

3.3 Organizzazione di un programma sostenibile	76
---	----

3.3.1 <i>Check-list</i> - modulo/questionario	78
---	----

Capitolo 4

Trattamenti disinfestanti contro gli artropodi	81
<i>Marianna Adamo, Massimo Cristofaro</i>	
4.1 Metodi fisici	82
4.1.1 Controllo delle condizioni ambientali	82
4.1.2 Trattamenti con le basse e le alte temperature	83
4.1.2.a Il congelamento	83
4.1.2.b Le microonde	85
4.1.2.c Le radiofrequenze	85
4.1.2.d Il calore	86
4.1.3 Le atmosfere controllate e modificate	86
4.1.4 I trattamenti con le radiazioni	90
4.1.4.a I raggi UV	90
4.1.4.b I raggi gamma	90
4.2 Metodi chimici	99
4.2.1 Gli insetticidi	99
4.2.2 La risposta biologica degli artropodi alla lotta chimica	105
4.2.3 Le sostanze repellenti	106
4.2.4 Le sostanze gassose	107
4.2.4.a L'ossido di etilene	108
4.3 Controllo biologico	111
4.4 Orientamenti per l'individuazione del trattamento	112

Capitolo 5

Gestione integrata degli infestanti	115
<i>Dario Capizzi, Ubaldo Cesareo, Luciano Santini, Pasquale Trematerra</i>	
5.1 Il controllo degli artropodi	115
5.1.1 Le tecniche di monitoraggio	115
5.1.2 Le strategie di <i>Integrated Pest Management</i>	120
5.1.2.a Evitare la presenza degli infestanti	120
5.1.2.b Identificare gli artropodi infestanti	120
5.1.2.c Individuare i problemi	121
5.1.2.d Metodi di lotta	121
5.2 Gestione della fauna ornitica	124
5.3 Il controllo dei roditori	125
5.3.1 Le tecniche di monitoraggio	126
5.3.2 Le strategie di <i>Integrated Pest Management</i>	127
5.3.2.a Metodi di esclusione	127
5.3.2.b Bonifica delle aree esterne	127
5.3.2.c Interventi di controllo	128
5.3.2.d Dispositivi di cattura	128
5.3.2.e Esche tossiche	129

Capitolo 6

Problemi sanitari per gli addetti al settore	131
<i>Marianna Adamo, Ubaldo Cesareo</i>	
6.1 La componente biologica dell'aria	132
6.2 Il rischio correlato ad artropodi di interesse	133
6.3 Il rischio da insetticidi	139
6.4 Il rischio da roditori	141

PARTE SPECIALE

Capitolo 7

Note morfo-biologiche di Insetti e Roditori: schede di riferimento	145
<i>Dario Capizzi, Luciano Santini, Pasquale Trematerra</i>	
7.1 Gli Insetti	145
7.1.1 Ordine <i>Thysanura</i>	146
7.1.2 Ordine <i>Psocoptera</i>	146
7.1.3 Ordine <i>Blattodea</i>	147
7.1.4 Ordine <i>Isoptera</i>	149
7.1.5 Ordine <i>Coleoptera</i>	150
7.2 I Roditori	154

Capitolo 8

Note sulle principali tecniche fotografiche: schede di riferimento	157
<i>Barbara Cattaneo, Donatella Matè</i>	
8.1 Processi in bianco e nero e a colori	157
8.2 Procedimenti argentici	160
8.2.1 Procedimenti monocromi	160
8.2.1.a Positivi diretti	160
8.2.1.b Negativi	164
8.2.1.c Positivi	169
8.2.2 Procedimenti a colori	177
8.2.2.a Autocromia	177
8.2.2.b Positivi, negativi e diapositive a sviluppo cromogeno	177
8.2.2.c Positivi e trasparenze a distruzione di coloranti	180
8.2.2.d Procedimenti a sviluppo istantaneo	181
8.2.2.e Processo per imbibizione (Kodak Dye Transfer Process)	182

8.3 Procedimenti non argentici	182
8.3.1 Procedimenti ai sali ferrici	182
8.3.2 Processi ai sali di cromo	185
8.3.3 Altri processi ai sali di cromo: processi agli inchiostri grassi	187
8.3.4 I processi di fotoreproduzione	188
8.4 Procedimenti fotomeccanici	189
8.4.1 Processi incavografici	189
8.4.2 Metodi planografici	191
8.4.3 Metodi rilievografici	194

Capitolo 9

Infestanti e problematiche di restauro conservativo	195
<i>Federica Delia</i>	
9.1 Trattamenti sui supporti	196
9.1.1 Pulitura a secco e a umido	197
9.1.2 Risarcimento delle lacune e sutura delle lacerazioni	199
9.2 Recupero dello strato immagine	200
9.2.1 Pulitura a secco e a umido	200
9.2.2 Consolidamento e ritocco	203
9.2.3 Il restauro virtuale	204
Bibliografia generale	207
Riferimenti alle immagini	225
Ringraziamenti	227
Profilo degli Autori	229

Presentazione

Photographic collections form a unique and irreplaceable resource of unique historic value. The delayed recognition of the importance of photographs as part of the collections, has slowed the development of a scientific methodology relating to their conservation. This can be problematic due to the sensitivity and instability of the materials. Unfortunately, the conservation and protection of photographic collections is becoming increasingly difficult, particularly because of the lack of economic resources to protect collections from environmental conditions, biodeteriogens and natural disasters. A strategy must be put in place of the preventive conservation measures which are needed to slow down the degradation processes in order to ensure the long-term preservation of irreplaceable collections. A multidisciplinary approach is needed which takes into account the various chemical, physical and biological factors. It needs to also take account of both the type and the state of preservation of the materials as well as the premises in which they are housed. The growth of metropolitan areas has favoured the development of pests such as fungi, insects, mites, birds and rodents which are best adapted to colonizing buildings. Moreover some other pests are responsible of human diseases.

Recently, many facilities have adopted measures to assess the hazards and risks arising from pests presence and damaging activity and have established protocols for effective intervention to limit danger and damage. These *Integrated Pest Management* (IPM) programs must be planned according to the various needs of an institution and often involve different skills and professions.

In this context, the present volume provides a general framework to enable both operators and service providers to monitor and combat infestations. Technical staff responsible for the conservation of photographic collections may need to co-ordinate external companies that provide different services.

Successful prevention of damage by pests requires a thorough knowledge of their biology and behaviour. The purpose of this book is therefore to provide general information on pests that can be found in the environments in which photographic materials are stored and to describe the damage that can be caused to collections. A large section is devoted to detection, preventive measures and the different control methods available capable of limiting the infestation. Finally, the book covers the types of photographic materials and the problems of restoration to attempt to mitigate the effects of deterioration of the photographs and retain as much as possible of their aesthetic and historical value.

There are a large number of images of the most common pest species and the various types of damage caused. There are also images of the different types of photography techniques and also of the restoration of damaged materials.

David Pinniger
Consultant IPM entomologist
Cookham, UK

Le collezioni fotografiche costituiscono una risorsa unica e insostituibile di particolare valore storico. Il riconoscimento tardivo dell'importanza della fotografia come parte di una collezione, ha rallentato lo sviluppo di metodologie scientifiche relative alla salvaguardia. La loro conservazione può essere problematica a causa della sensibilità e instabilità dei materiali stessi. Purtroppo, la tutela delle collezioni fotografiche sta diventando sempre più difficile, soprattutto per la mancanza di risorse economiche destinate a proteggerle da condizioni ambientali e biodeteriogeni avversi e dai disastri naturali. Una strategia da mettere in atto deve prevedere delle misure preventive che sono necessarie per rallentare i processi di degradazione e per garantire la conservazione a lungo termine dei materiali insostituibili. Al riguardo è necessario un approccio multidisciplinare che consideri i vari fattori chimici, fisici e biologici coinvolti. Si deve anche tener conto del tipo e dello stato di conservazione dei materiali e i luoghi in cui essi sono alloggiati. Infatti la crescita delle aree metropolitane ha favorito lo sviluppo di numerosi parassiti come funghi, insetti, acari, uccelli e roditori che si sono ben adattati alla colonizzazione degli edifici urbani e delle attività umane. Inoltre alcuni organismi sono responsabili di problemi sanitari per l'uomo.

In molte strutture sono state adottate apposite misure per valutare i pericoli e i rischi derivanti dalla presenza degli infestanti e la loro attività dannosa stabilendo mirati protocolli di intervento efficaci nel limitarne i pericoli e i danni. Tali programmi di gestione integrata, *Integrated Pest Management (IPM)*, devono essere pianificati in base alle varie esigenze di uno specifico Istituto, Ente o struttura privata e coinvolgono diverse competenze professionali.

In tale contesto, il presente volume fornisce un quadro generale che consente sia agli operatori sia ai fornitori di servizi, di monitorare le attività operative e valutare i risultati ottenuti. Inoltre può essere utile al personale tecnico interno, responsabile della conservazione inerente le collezioni fotografiche, al fine di coordinare le attività delle società esterne fornitrici dei diversi servizi.

Il successo nella prevenzione dei danni da *pests* richiede una conoscenza approfondita della loro biologia e dei loro comportamenti. Lo scopo del presente libro è dare informazioni generali sugli infestanti più ricorrenti, riscontrabili negli ambienti in cui sono alloggiati i materiali fotografici, e descrivere i danni che possono arrecare alle collezioni. Un'ampia sezione è dedicata al monitoraggio, alle misure preventive e ai diversi metodi di lotta disponibili in grado di limitare le infestazioni. Infine, il testo illustra i diversi tipi di tecniche fotografiche e affronta le problematiche legate al restauro utili ad attenuare gli effetti del deterioramento per mantenere quanto più possibile il valore estetico e storico di tali beni.

L'opera è corredata da una ricca documentazione fotografica relativa alle specie infestanti più comuni e ai vari tipi di danni da essi arrecati. Inoltre sono inserite numerose immagini delle diverse tecniche adottate nel tempo per la realizzazione delle fotografie e degli interventi di restauro.

Introduzione

Le collezioni fotografiche rappresentano una fonte documentaria dal valore inestimabile e la strategia che deve essere impostata per la loro salvaguardia mira soprattutto ad azioni di conservazione preventiva che diventano quindi elementi fondamentali della cura delle collezioni stesse. Tale modo di operare dovrebbe trovare fondamento in politiche basate sull'adozione di comportamenti e di precauzioni tecniche da applicare con continuità scrupolosa.

Il presente libro fornisce informazioni a carattere generale sulle specie (principalmente insetti e roditori) che si rintracciano con maggiore frequenza negli ambienti in cui sono conservati i materiali fotografici e sui danni che possono arrecare. Un'ampia parte è dedicata alle tecniche e agli accorgimenti di prevenzione, ai diversi metodi di lotta disponibili, tradizionali e alternativi, capaci di limitare le infestazioni. Allo scopo vengono delineati, seppure schematicamente, gli aspetti fondamentali di un programma di difesa in logica di *Integrated Pest Management* (IPM) che prevede le interazioni tra intervento territoriale, perfetta conoscenza delle condizioni microclimatiche dell'ambiente di conservazione e della biologia dei *pests*. Vengono anche descritti gli aspetti generali dei problemi sanitari per gli addetti al settore, correlati ai principali insetti e ad altri infestanti direttamente legati ai luoghi di conservazione, nonché dell'uso improprio e indiscriminato di sostanze biocide.

Nel testo sono trattate le diverse tipologie di tecniche fotografiche e fotomeccaniche: tutte possono essere oggetto di deterioramento. Le fotografie, complesse dal punto di vista strutturale, sono infatti costituite da una varietà di sostanze che reagiscono in modo diverso agli stress ambientali e al biodeterioramento. È dunque importante conoscere i tratti salienti di ogni procedimento per comprenderne punti di forza e fragilità a livello conservativo. Le carte fotografiche contemporanee, utilizzate soprattutto per stampe digitali, sono invece tuttora in corso di studio dal punto di vista del deterioramento entomologico e pertanto non sono state esaminate. Nell'ambito di questi materiali, nati tra gli anni Cinquanta e Sessanta, il procedimento a getto d'inchiostro è senz'altro il più noto; esso può utilizzare pigmenti o coloranti che hanno una stabilità intrinseca variabile. Ciò che invece accomuna le carte usate per le varie tecniche di stampa (elettrofotografica, *inkjet*, laser ecc.) è una collatura/finitura con prodotti acrilici e alchidici. Queste caratteristiche rendono le stampe contemporanee più resistenti al biodeterioramento rispetto alle carte tradizionali, perlopiù trattate con collature organiche.

Infine vengono delineate le problematiche del "restauro conservativo", da effettuare quando strettamente necessario per arginare gli effetti del deterioramento. Tale restauro opera attraverso azioni di stabilizzazione delle condizioni, di ripristino delle funzionalità e, come conseguenza, della possibilità di fruizione. Esso agisce sui beni fotografici al fine di preservarne l'integrità fisica e chimica il più a lungo possibile nel tempo e i suoi effetti sono frutto di un percorso di conoscenza dell'oggetto fotografico, per approdare a interventi che siano rispettosi del valore storico-estetico e delle funzioni dell'oggetto stesso, qualsiasi esse siano (affettive-familiari, documentali, artistiche ecc.).

Alla realizzazione dell'opera hanno contribuito differenti Autori, specialisti impegnati in vari campi disciplinari della biologia applicata e delle attività di studio operanti nella valorizzazione, conservazione, tutela e fruizione dei beni culturali.

Marianna Adamo
Donatella Matè
Pasquale Trematerra

PARTE GENERALE

Capitolo I

I danni da Insetti

Marianna Adamo, Donatella Matè, Pasquale Trematerra

Le prime notizie di insetti nocivi ai libri e ai materiali cartacei si fanno risalire agli inizi del Settecento, ma fu uno studio pubblicato nel 1879 dal dottor Hermann August Hagen, di New York, a descrivere con dovizia di particolari i danni arrecati da Blatte, Dermestidi, Lepismatidi, Ptinidi e Termiti, e a riportare alcune indicazioni sui metodi atti a preservare le biblioteche da tali attacchi (Saccà, 1940a). A questo lavoro si ispirarono, nel corso del tempo, vari entomologi tra cui il francese Constant Vincent Houlbert, conservatore presso il Museum in Rennes, che nel 1903 pubblicò “Les insectes ennemis des livres. Leurs moeurs. Moyens de les detruire”, un importante saggio di entomologia dedicato a numerose specie di artropodi “nemici della carta”, indagati con minuziosa perizia scientifica, e ai rimedi da adottare per combatterli al fine di una corretta gestione di una biblioteca.

Il danno comunemente generato dagli insetti a libri e documenti vari può essere di due tipi: strutturale, se viene minacciata la struttura e la stabilità del manufatto, oppure estetico, se è la valenza esteriore del manufatto ad essere alterata. Il tipo di danno prodotto presenta caratteristiche morfologiche e segni propri della specie che lo ha determinato e dipende anche dall'intensità dell'attacco. Sebbene dalla tipologia di deterioramento e dalla tipicità delle tracce lasciate è spesso possibile identificare il colpevole, è anche vero che in molte occasioni risulta difficile comprendere quale sia effettivamente il biodeteriogeno responsabile di quel particolare attacco. I danni strutturali ed estetici, di varia tipologia ed entità, sono talvolta irreversibili e purtroppo possono portare anche alla compromissione dei supporti interessati.

Di seguito ci occuperemo di tali ospiti, indesiderati, e delle possibili forme di difesa da adottare in modo da prevenire la loro presenza e i danni provocati, con particolare riferimento ai materiali fotografici.

I.1 Generalità sugli Insetti

Gli Insetti costituiscono il raggruppamento più numeroso di Artropodi, di cui rappresentano il culmine dell'evoluzione; risultano essere gli animali dominanti sulla Terra sia come numero di individui che come abbondanza di specie.

Il *Phylum* Arthropoda è suddiviso in quattro *subPhyla*: Crustacea (crostacei), che annovera numerose Classi; Chelicerata (chelicerati), comprendente la Classe Arachnida (ragni, acari, scorpioni, ecc.); Myriapoda (miriapodi), con le Classi Chilopoda (centopiedi) e Diplopoda (millepiedi); Hexapoda, costituita essenzialmente dalla Classe Insecta (Insetti).

La grande maggioranza degli Arthropoda che si possono rintracciare negli ambienti di conservazione delle collezioni fotografiche, e tra i materiali stessi, appartiene agli insetti, mentre di minore importanza sono considerati gli acari, come pure i ragni e gli scorpioni. Tra i miriapodi e i crostacei terrestri solo alcune specie vengono riscontrate occasionalmente sui materiali oggetto della presente pubblicazione.

Il successo degli Arthropoda può essere attribuito all'acquisizione di particolari caratteristiche morfologiche che hanno permesso loro di occupare quasi tutti gli habitat disponibili. L'adattamento più importante è rappresentato sicuramente dall'esoscheletro, o tegumento, la cui porzione esterna, chiamata cuticola, è rigida e inerte. Questa è assimilabile a un'armatura che racchiude e protegge il corpo dell'artropode; in alcune zone è sottile e flessibile per consentire il movimento delle coppie di appendici articolate da cui il *Phylum* trae il nome (Arthropoda "arti articolati"). La cuticola è secreta dall'epidermide ed è composta principalmente da proteine e da un polisaccaride: la chitina.

La maggior parte degli Arthropoda possiede recettori sensoriali ben sviluppati, che comprendono occhi semplici o composti e strutture di rilevazione chimica e tattile molto efficaci di solito addensate sulle antenne. La capacità di movimenti finemente coordinati, combinata con raffinate attitudini sensoriali e un sistema nervoso ben sviluppato, ha permesso l'evoluzione di comportamenti complessi in numerose specie; ne sono un esempio gli insetti sociali quali api, formiche e termiti. Per quanto riguarda la riproduzione, generalmente i sessi sono separati e la fecondazione è interna.

Il comportamento degli insetti è piuttosto complesso, benché le funzioni superiori del sistema nervoso siano decentrate in diversi gangli presenti nelle varie parti del corpo.

Uno tra gli aspetti etologici comunque 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. Uno degli esempi più noti di aggregazione sociale è rappresentato dagli Isoptera che verrà trattato in seguito.

Gli insetti sono in grado di provocare danni più o meno gravi a seconda della specie, dello stadio vitale, della prolificità, delle condizioni ambientali (fattori abiotici) e delle risorse trofiche. Tutti questi elementi, e altri ancora, possono in vario modo favorire o rallentare un'infestazione. Per quanto riguarda la prolificità, caratteristica delle singole entità, essa è influenzata in larga misura dai valori termoisometrici; in generale più una specie è prolificata maggiore è la possibilità di avere individui in grado di determinare danni ai materiali. Le temperature favorevoli per lo sviluppo sono comprese tra i 20 °C e i 30 °C mentre valori più alti o più bassi (contenuti sempre nei limiti compatibili con le attività vitali) accelerano o rallentano la durata del ciclo vitale e di conseguenza il numero di generazioni. Normalmente le umidità relative ottimali sono quelle che si attestano tra il 70% e il 90%, valori più bassi riducono, in parte, l'attività di alcuni insetti come ad esempio quella di specie appartenenti ad Isoptera, Psocoptera e Blattodea.

Tra gli insetti dannosi al materiale conservato in archivi e biblioteche (Gallo, 1985; Magaouda, 1994; Chiappini *et al.*, 2001; Pinniger, 2001; Trematerra & Süß, 2007; Montanari *et al.*, 2008; Trematerra & Pinniger, 2014) quelli che, in ordine di importanza, vengono comunemente riconosciuti dannosi anche per il materiale fotografico sono i Thysanura e i Blattodea. Ad essi si aggiungono gli Psocoptera (Flieder & Lavédrine, 1987), i Coleoptera Dermestidae, osservati da Roudabush (1975) quali deterioranti di pellicole e diapositive, i Coleoptera Anobiidae e gli Isoptera che, essendo in grado di digerire sostanze come la cellulosa, sono in ogni caso da considerarsi potenzialmente nocivi (Flieder & Lavédrine, 1987).

In linea generale comunque un attacco da Lepismatidae o da Psocoptera può essere considerevolmente meno grave rispetto a quello compiuto da Anobiidae, Isoptera o

Blattodea (nel capitolo 7 vengono fornite alcune note sulla morfologia e sulla biologia delle specie trattate).

1.2 Le specie più diffuse e le tipologie di danno

1.2.1 *Thysanura*

Dei Thysanura, *Lepisma saccharina* (Linnaeus) e *Thermobia domestica* (Packard), entrambi appartenenti alla famiglia Lepismatidae (conta più di 40 generi e oltre 200 specie), sono le principali entità dannose per il materiale fotografico. Essi vivono prevalentemente in luoghi oscuri, umidi e polverosi.

Lepisma saccharina (L.) (adulto di 15-20 mm) ha un comportamento fototropico negativo e predilige ambienti temperato-umidi (22-32 °C e 75-97% di U.R. per lo sviluppo embrionale) nei quali cerca attivamente il proprio cibo durante le ore notturne. I limiti di sopravvivenza sono compresi tra 10-35 °C e 30-70% di U.R. Di giorno o in presenza di luce si nasconde rifugiandosi in fessure, intercapedini, crepe e anfratti di dimensioni minime. Rispetto a *Lepisma*, *Thermobia*, tollera temperature più elevate e valori più bassi di umidità, resistendo fino a gradienti del 30-40% purché ci sia acqua a disposizione nelle risorse trofiche. In sperimentazioni effettuate da Edwards e Nutting nel 1950, si è notato che l'insetto è attivo fra i 12 °C e i 50 °C, mentre al di sotto dei 12 °C diventa inattivo e intorno a 1 °C e a 51 °C subisce danni irreversibili (Grandi, 1984).

La temperatura ambientale riveste per queste due specie una discreta importanza soprattutto per quanto riguarda la lunghezza della vita: infatti, mentre a 27 °C si attesta intorno ai 3 anni, mano a mano che si verifica un aumento di temperatura (29-32 °C) la durata tende a diminuire (Gallo, 1985). Tali dati confermano che le alte temperature accorciano lo sviluppo embrionale (a 22 °C impiega più di 40 giorni, a 32 °C il tempo si riduce di circa la metà) e non aiutano l'insetto a vivere più a lungo; tra l'altro c'è da considerare anche che gli adulti possono resistere in situazioni con temperature molto basse (intorno a 1 °C) per diversi mesi. Tali connessioni, tra valori di temperatura e ciclo vitale, dimostrano come, in effetti, le condizioni ambientali siano incisive per la vita di questi insetti. Naturalmente ad alte temperature aumenta la necessità di avere umidità relative maggiori, a vantaggio delle varie fasi di sviluppo.

Questi insetti vivono prevalentemente a spese di materiali cartacei (da notare che le carte a base di polpa chimica risultano più facilmente attaccate rispetto a quelle costituite da polpa meccanica), di reperti tessili e di varie sostanze amilacee (in particolar modo colle) ma necessitano anche di substrati proteici - talvolta si nutrono di cadaveri ed esuvie di altri tisanuri - rappresentando così un pericolo anche per le collezioni zoologiche e botaniche.

Conosciuti come “pesciolini d'argento”, per la colorazione determinata dalle squamette grigio-argentee che ne ricoprono il corpo (fig. 1.1), sono particolarmente dannosi per il materiale di alcune tipologie di stampe fotografiche, potendo nutrirsi della carta che costituisce il supporto primario e/o secondario (sono in grado di digerire la cellulosa) e dei leganti (quali albumina e gelatina) che fanno parte dello strato immagine insieme ai sali fotosensibili. I lepismatidi sono attratti soprattutto però dagli adesivi di origine vegetale (colofonia, gomma arabica, gomma adragante, amido di grano, di riso e di crusca e destrina) e animale (gelatina, albumina e caseina) utilizzati nei montaggi e nella fabbricazione della carta (per la manifattura dei supporti primari e/o secondari). Bisogna infatti tenere presente che un foglio di carta oltre alle fibre di cellulosa contiene diversi prodotti tra cui il più importante è appunto il collante (Matè *et al.*, 2009).

I tisanuri hanno l'abitudine di sostare sul materiale individuato come nutrimento rimanendovi a lungo e continuando a svolgere il loro ciclo vitale in quella determinata area. Il danno per espletarsi necessita di tempi piuttosto lunghi dato che questi insetti non possiedono una spiccata capacità corrosiva ma può essere ugualmente rilevante come si evidenzia, ad esempio, nella immagine mostrata in figura 1.2. L'insetto, che è rimasto a lungo in tale microambiente, è riuscito a danneggiare in maniera consistente la stampa alla gelatina montata sotto vetro, provocando erosioni di discrete dimensioni tanto da determinare una lacuna di apprezzabile estensione; ha potuto agire indisturbato e, nel giro di un anno circa, ha eroso notevolmente la fotografia alloggiata sul muro in un luogo non abitato e in assenza di luce.

In genere le erosioni superficiali, di diversa estensione, mostrano contorni irregolari più o meno ampi e possono presentare forme allungate o tondeggianti (figg. 1.3-1.10). Nel caso di infestazioni in stato più avanzato si osservano nei supporti erosioni talmente profonde da determinare perforazioni (come nell'esempio mostrato in figura 1.2). In occasione di attacchi particolarmente gravi il danno può essere molto esteso tanto da compromettere la leggibilità dell'immagine.



Fig. 1.1 - Esemplare di lepismatide finito in una trappola entomologica a colla, sono evidenti anche i cataboliti



Fig. 1.2 - Esemplare vivo di lepismatide che sosta sul danno prodotto ad una stampa alla gelatina montata sotto la cornice di vetro



Fig. 1.3 - Stampe alla gelatina (formato cartolina), anni Trenta, che raffigurano lo stesso soggetto. Le stampe, conservate nel medesimo involucro, presentano erosioni imputabili all'azione di lepmatidi, di entità differenti e diversamente distribuite



Fig. 1.4 - Ingrandimento allo stereomicroscopio che evidenzia una tipica erosione determinata da lepmatidi su una stampa alla gelatina



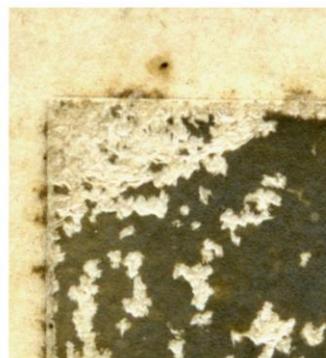
Figg. 1.5, 1.5a, 1.5b - Stampa alla gelatina (formato cartolina), anni Venti. Le erosioni contenute imputabili a lepmatidi sono localizzate lungo il margine superiore dell'immagine (figg. 1.5, 1.5b). In corrispondenza, sul recto della stampa, si possono notare i minimi danni (fig. 1.5a)



Fig. 1.6 - Stampa alla gelatina (formato cartolina), anni Trenta, con evidenti erosioni diffuse in diverse aree dell'immagine imputabili a lepismatidi



Figg. 1.7, 1.7a - Stampa alla gelatina dei primi anni del Novecento. Si può notare che i danni, imputabili all'azione dei lepismatidi, risultano circoscritti al cartone di montaggio. In figura 1.7a si evidenzia un particolare relativo al danno sul supporto secondario



Figg. 1.8, 1.8a, 1.8b - Stampa alla gelatina, anni Venti, con erosioni minute ma diffuse imputabili a lepismatidi (ben visibili negli ingrandimenti - figg. 1.8a e 1.8b)



Fig. 1.9 - Stampa all'albumina, di fine Ottocento, con erosioni imputabili a lepismatidi



Fig. 1.10 - Particolare di stampa all'albumina colorata a mano, di fine Ottocento, con erosioni imputabili a lepismatidi

Come accennato, il danno a volte è di difficile interpretazione e le erosioni non sono facilmente attribuibili tanto che è possibile confondere un deterioramento provocato da un lepismatide con quello provocato da una blatta sebbene quest'ultima abbia un apparato boccale masticatore ben più sviluppato (figg. 1.11 e 1.11a).

A prima vista è possibile anche scambiare un danno di natura chimico-fisica con uno derivante dall'azione erosiva di alcuni insetti come ad esempio nelle immagini delle figure 1.12 e 1.12a ove, un più accurato esame ottico, ha evidenziato che non si tratta di erosioni bensì di diffuse e minute abrasioni dello strato immagine dovute a distacco dell'emulsione in seguito a contatto con acqua.



Figg. 1.11, 1.11a - Stampa alla gelatina, di fine Ottocento, con erosioni consistenti che potrebbero essere state prodotte da lepismatidi oppure da blattoidei. Nel particolare della stampa (fig. 1.11a) si evidenzia la morfologia dell'erosione a carico del supporto primario



Figg. 1.12, 1.12a - Stampa alla gelatina dei primi del Novecento (formato cartolina) con danni che ad una prima osservazione sembravano essere prodotti dall'azione di insetti

Di seguito viene mostrata una serie di immagini relativa a un test effettuato sui danni causati da lepismatidi allevati in laboratorio e posti in un contenitore insieme a campioni di stampe alla gelatina. Dalle osservazioni effettuate si è potuto constatare che le erosioni sono state arretrate dall'insetto nel giro di pochi mesi (figg. 1.13-1.14c).



Figg. I.13, I.13a - Stampa alla gelatina, anni Quaranta, con erosioni minute ma diffuse prodotte da lepismatidi in prove di laboratorio



Figg. I.14, I.14a, I.14b, I.14c - Stampa alla gelatina, anni Quaranta, con erosioni minute ma diffuse prodotte da lepismatidi in prove di laboratorio. Comunque il danno sembra maggiormente espletato sul retro della stampa (figg. I.14b e I.14c)

1.2.2 Psocoptera

Numerose, ma poco studiate, sono le specie di Psocoptera potenzialmente in grado di arrecare danni ai materiali fotografici. Sicuramente nocivi risultano essere: *Liposcelis divinatorius* (Müller), *Liposcelis bostrycophila* (Badonnel) (famiglia Liposcelidae) e *Trogium pulsatorium* (Linnaeus) (famiglia Trogiidae).

Conosciuti anche come “pidocchi dei libri”, per la loro caratteristica di trovarsi spesso tra i documenti cartacei in genere, soprattutto se collocati in luoghi poco frequentati, questi piccoli insetti (adulti di 1-2 mm) prediligono ambienti bui, polverosi e con alto tasso di umidità dove si sviluppano microfunghi, sono infatti di solito assenti nei locali secchi e ventilati. Si possono annidare anche dietro i battiscopa e le cornici, nei pavimenti e persino nelle installazioni elettriche. L'esoscheletro poco consistente e il colore del tegumento, in genere marroncino molto chiaro, li fanno apparire quasi trasparenti, rendendoli in molti casi invisibili o non facilmente evidenziabili (fig. 1.15). Hanno l'abitudine, se scoperti, di spostarsi con estrema velocità (considerando anche le loro piccole dimensioni) e nascondersi.

Oltre alle specie attere ne esistono di alate; quando presenti, le ali sono membranose e le anteriori risultano più sviluppate delle posteriori.

Liposcelis divinatorius (Müller) il noto *booklouse* (lungo 0,7-2 mm) insetto cosmopolita, è comune nei luoghi in cui si conservano prodotti secchi di origine vegetale e animale; si riscontra anche nelle abitazioni, nei ricoveri degli animali domestici e nei luoghi di conservazione dei materiali archivistici e librari. Preferisce ambienti caldo umidi e svolge 6-8 generazioni l'anno. Gli adulti hanno una vita di circa 6 mesi e, a umidità relative del 75% circa, sono sufficienti poche ore di esposizione a basse temperature (intorno allo zero) o a temperature di poco superiori ai 42 °C per indurre la morte dopo 24 ore, del resto facilmente prevedibile dato l'esile e molle corpo.

Liposcelis bostrycophila (Badonnel) è un biodeteriogeno piuttosto importante in Europa, Australia, parte del Nord America e ora anche in Malesia. Mostra comportamento partenogenetico e tutta la prole è di sesso femminile; la popolazione aumenta in modo esponenziale e un'infestazione potrebbe originarsi da pochi esemplari indigeni al verificarsi di condizioni ambientali favorevoli.



Fig. 1.15 - Esemplare di psocottero allevato in un contenitore entomologico

Questi insetti si nutrono, con il loro apparato boccale masticatore modificato, sia di detriti animali sia vegetali; si possono sviluppare a carico di microfunghi presenti su substrati quali carta, imbottiture di mobili, cereali e prodotti derivati. Pullulano sovente negli erbari e nelle collezioni entomologiche.

Il biodeterioramento causato al materiale in conservazione è di tipo indiretto infatti gli psocotteri non si alimentano dei prodotti a base di carta bensì dei funghi microscopici che si formano sulla colla delle rilegature o delle stampe stesse, pertanto la loro presenza è strettamente correlata ad ambienti particolarmente umidi. I danni, comunque, risultano essere di scarsa entità manifestandosi come piccole erosioni superficiali dai contorni irregolari. In caso di invasione massiccia, evento non improbabile dato che si tratta di specie coloniali (temperature superiori a 25 °C ne agevolano le pullulazioni), il danno ai materiali cartacei, e soprattutto alle rilegature, potrebbe risultare notevole poiché essi non scavano buchi ma determinano sfaldature, rendendo probabile l'attacco di specie più grandi. Sono insetti difficilmente controllabili poiché per le loro piccole dimensioni riescono a rifugiarsi e nascondersi negli interstizi, in piccole crepe o fessure riuscendo ad evitare la maggior parte delle operazioni di disinfestazione

Gli psocotteri, come sarà specificato in seguito (vedi capitolo 7), possono provocare in persone sensibili reazioni allergiche e irritazioni cutanee.

1.2.3 Blattodea

I comuni scarafaggi, sono dotati di apparato boccale masticatore che consente loro di cibarsi di ogni tipo di materiale organico, preferendo sostanze ricche di amido e zuccheri semplici; sono cosmopoliti, frequentano luoghi umidi e poco illuminati.

Della famiglia Blattidae, infestante molto comune rinvenibile soprattutto nei piani bassi in vari ambienti antropizzati è *Blatta orientalis* (Linnaeus), lo scarafaggio nero (adulti di 18-28 mm e ooteca di 10-12 mm), che spesso entra anche nelle abitazioni e in altri luoghi in cui l'uomo vive e opera. Tale specie, che ha dimorfismo sessuale e comportamento lucifugo, è igrofila e termofila prediligendo appunto luoghi piuttosto umidi e caldi, resiste a temperature inferiori rispetto alle altre blatte infestanti. Onnivora, si nutre di un gran numero di materie organiche: alimenti vari di origine vegetale e animale, sostanze in fermentazione, feci, tessuti, carta, cuoio ecc.

Entità meno comune rispetto alla precedente, particolarmente esigente di condizioni climatiche caldo-umide è *Periplaneta americana* (Linnaeus) (adulti di 28-53 mm e ooteca di 10-12 mm) della famiglia Blattidae, rinvenibile in magazzini, industrie, locali di preparazione e lavorazione di alimenti, si trova solo occasionalmente negli edifici, in generale nei piani bassi; vive di solito nelle aree portuali e nelle fognature. L'adulto si sposta generalmente camminando, anche se è in grado di effettuare voli di alcuni metri. Ha un comportamento lucifugo e i danni arrecati sono del tutto analoghi a quelli indicati per *B. orientalis*.

Altra blatta da menzionare è *Blattella germanica* (Linnaeus) (adulti di 10-16 mm e ooteca di 7-9 mm) della famiglia Blattellidae (fig. 1.16), frequente nei locali che presentano condizioni ambientali caldo-umide, si può osservare anche di giorno. Negli ambienti di conservazione la sua presenza è imputabile ad esemplari introdotti con materiali infestati oppure alla vicinanza di magazzini alimentari o bar, pasticcerie e ristoranti dove si nasconde vicino alle sorgenti di calore, ad esempio le macchine per il caffè o le aree adiacenti i forni. L'adulto, pur possedendo le ali, di solito si sposta camminando e ha la capacità di arrampicarsi anche su superfici verticali e lisce. I danni sono analoghi a quelli dello scarafaggio nero. *B. germanica* esige maggior calore (frequenta

infatti cucine, bar, tavole calde) di *B. orientalis* che invece necessita di più umidità (come accennato preferisce i piani bassi degli edifici).

Altra specie tipica degli ambienti urbanizzati, in grado di colonizzare essenzialmente le abitazioni, è *Supella longipalpa* (Fabricius) (Blattellidae) (adulti di 11-14 mm e ooteca di 4-5 mm); si riscontra con facilità nelle cucine, principalmente dietro forni, frigoriferi e lavastoviglie. Ha regime alimentare polifago, mostra una certa preferenza verso sostanze ad elevato contenuto zuccherino e ha un comportamento simile a quello di *B. germanica*.

I danni provocati dai blattoidei sono essenzialmente di due tipi: erosioni a contorno irregolare anche di notevole entità fino ad arrivare alla perforazione del supporto, e imbrattamenti (figg. 1.17 e 1.18). Il materiale venuto a contatto con questi insetti risulta infatti macchiato dalle loro deiezioni più o meno liquide e dal cibo rigurgitato all'atto dell'alimentazione; tra le varie imbrattature, sono caratteristiche quelle "a forma di virgola" dovute alle feci. I danni complessi possono comportare la perdita dell'immagine.

Altro aspetto negativo legato alla presenza degli scarafaggi è la produzione di sostanze nauseabonde all'olfatto, secrete da ghiandole repugnatorie che assumono funzione difensiva nei confronti di eventuali antagonisti.

Da studi effettuati dagli Autori si è potuto notare che le erosioni provocate ai reperti fotografici possono variare a seconda della tipologia del materiale attaccato: le stampe su carta sono danneggiate a differenza dei materiali plastici e quelle con il legante albumina risultano più erose rispetto alle stampe alla gelatina (Ruschioni *et al.*, 2009; Adamo *et al.*, 2009a, 2011b, 2012). Nel caso in questione, la sperimentazione si riferisce a *Blaptica dubia* (Serville) (fig. 1.19) appartenente alla famiglia Blaberidae, noto per erodere e imbrattare con le proprie deiezioni i vari materiali con cui entra in contatto. Lo scopo dello studio era quello di caratterizzare la morfologia del danno, valutare il tempo necessario ad espletarlo e creare una "scala" delle diverse vulnerabilità dei materiali analizzati, individuando quelli più appetiti e quindi a maggiore rischio. In tali test sono state sottoposte all'attacco dell'insetto diverse tipologie di materiali fotografici: stampe al collodio, stampe all'albumina, stampe alla gelatina in bianco e nero (b/n), stampe a colori a sviluppo cromogeno (con e senza plastificazione), negativi alla gelatina su supporto plastico (in b/n e a colori) e stampe fotomeccaniche.



Fig. 1.16 - Adulto di *Blattella germanica*. Di colore tendente al marroncino presenta due macchie nerastre allungate ben evidenti sul pronoto (primo segmento del torace). Le zampe sono dotate di strutture atte ad aderire anche a substrati molto lisci

I campioni prima di essere inseriti singolarmente nei contenitori di allevamento di questa blatta e alla fine della sperimentazione, che in genere ha avuto la durata di quattro settimane, sono stati sottoposti a riproduzione digitale e pesati. In tale modo si è potuto quantificare l'entità del danno dovuto all'erosione, mediante analisi ponderale prima e dopo l'esposizione all'attacco degli insetti. Per quanto concerne le erosioni, presenti nella quasi totalità dei campioni, è stato interessante notare come queste si siano generalmente manifestate con andamento progressivo dall'esterno verso l'interno del supporto. Un'azione erosiva che può definirsi "esfoliativa" essendo stata condotta gradualmente fino ad arrivare, in alcuni casi, alla completa distruzione del supporto; tale azione si è resa ben visibile ad esempio nelle fotografie con supporto cartaceo dotate di cartoncino di montaggio.

L'entità delle erosioni è risultata varia, da tipologia a tipologia di manufatto, probabilmente in relazione alla diversa composizione degli elementi costitutivi, si è notata infatti una differente suscettibilità tra i materiali e un ruolo fondamentale viene svolto dal tipo di legante utilizzato.

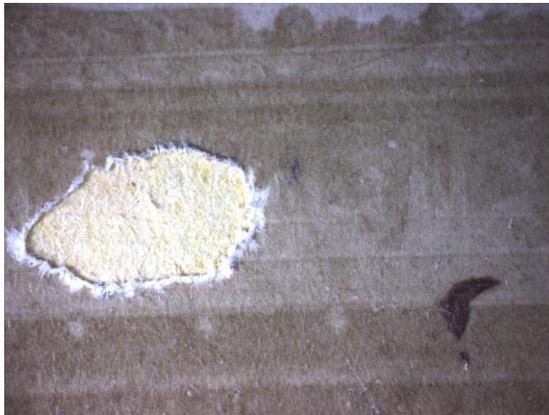


Fig. 1.17 - Ingrandimento allo stereomicroscopio di erosioni da blatte su stampa all'albumina. Si può notare il tipico imbrattamento "a virgola" dovuto agli escreti



Fig. 1.18 - Ingrandimento allo stereomicroscopio di erosione da blatte su stampa all'albumina



Fig. 1.19 - Adulto di *Blaptica dubia*. Visibile è l'ooteca, prodotta da ghiandole colleteriche, che la femmina porta attaccata all'addome

In uno degli studi effettuati (Adamo *et al.*, 2012) è stata utilizzata anche la carta Whatman per confronto (semplice sistema privo di collanti, cariche minerali ecc.) in modo da valutare esclusivamente il rapporto insetto-cellulosa. I risultati ottenuti analizzati statisticamente (ANOVA, test di confronto multiplo di Tukey e test di student con correzione di Welch), per stimare la significatività delle differenze osservate tra le diverse tipologie di materiale esaminato, hanno evidenziato che la media delle percentuali erose ha oscillato da un massimo pari al 37,01% per le carte all'albumina, ad un minimo dello 0,68% per le gelatine b/n. La carta Whatman con una media del 1,47% si è collocata nel gruppo dei materiali meno erosi.

Le stampe con legante alla gelatina sono risultate meno danneggiate se messe a confronto con quelle all'albumina dove l'erosione si è manifestata con "esfoliazioni" successive arrivando alla quasi totale distruzione sia del supporto primario sia dello strato immagine. Nel caso della presenza di supporti secondari cartacei, come si è evidenziato in varie stampe alla gelatina, all'albumina e in alcune stampe fotomeccaniche, il danno si è localizzato soprattutto sull'immagine forse a causa della presenza di colle utilizzate per fare aderire il supporto primario a quello secondario. Probabilmente anche il maggiore spessore risultante dai due supporti stessi potrebbe agevolare l'insetto a praticare un'erosione superficiale. Per quanto riguarda le stampe a colori, quelle non plastificate sembrano essere più appetibili per le blatte rispetto a quelle plastificate (carte *resin coated* - RC). A conferma di tali risultati, che provano come i materiali cartacei plastificati siano più resistenti all'attacco degli insetti corrosivi rispetto a quelli non plastificati, vi sono alcuni test effettuati su negativi in poliestere che hanno evidenziato quale unica tipologia di danno il solo imbrattamento. All'esame microscopico le pellicole mostrano nei punti dei fori i tentativi che l'insetto, con il suo apparato boccale masticatore, ha effettuato per cercare di erodere.

Tutte le tipologie di materiali studiati hanno mostrato danni da imbrattamento manifestatisi con macchie di colore marrone scuro, dalla forma generalmente più o meno allungata; non sembra esserci relazione però tra quantità di materiale eroso ed entità di imbrattamento.

Di seguito sono mostrate alcune immagini relative ai danni prodotti da *Blaptica dubia* (figg. 1.20-1.31b).



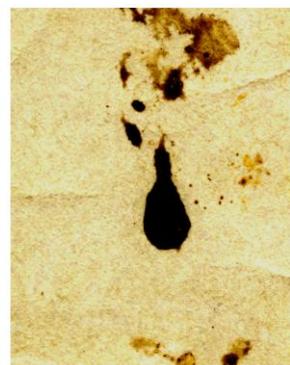
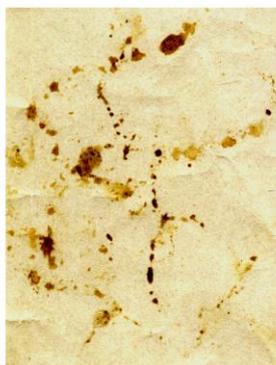
Fig. 1.20 - Stampa alla gelatina, di fine Ottocento, con cartone di montaggio sottoposta all'azione di *Blaptica dubia* con marcati danni allo strato immagine



Fig. 1.21 - Stampa alla gelatina, di fine Ottocento, con cartone di montaggio sottoposta all'azione di *Blaptica dubia* con evidenti danni da imbrattamento



Fig. 1.22 - Stampa all'albumina (formato stereoscopico), di fine Ottocento, con cartone di montaggio sottoposta all'azione di *Blaptica dubia*



Figg. 1.23, 1.23a, 1.23b - Stampa all'albumina, di fine Ottocento, senza cartone di montaggio sottoposta all'azione di *Blaptica dubia*. Oltre alle erosioni ben evidenti ai margini, sono visibili anche gli imbrattamenti prodotti (figg. 1.23a e 1.23b)



Fig. 1.24 - Particolare di una stampa al collodio con erosioni dovute all'azione corrosiva di *Blaptica dubia*



Fig. I.25 - Stampa alla gelatina a colori non plastificata, anni 1960, sottoposta all'azione di *Blaptica dubia*



Fig. I.26 - Stampa alla gelatina a colori plastificata, anni 1990, sottoposta all'azione di *Blaptica dubia*



Figg. I.27, I.27a, I.27b - Recto e verso di stampa fotomeccanica - collotipia (formato cartolina) degli anni Venti e particolare dell'erosione sul francobollo (fig. I.27b). Anche in altre cartoline fotografiche i francobolli sono stati i primi ad essere erosi da *Blaptica dubia*



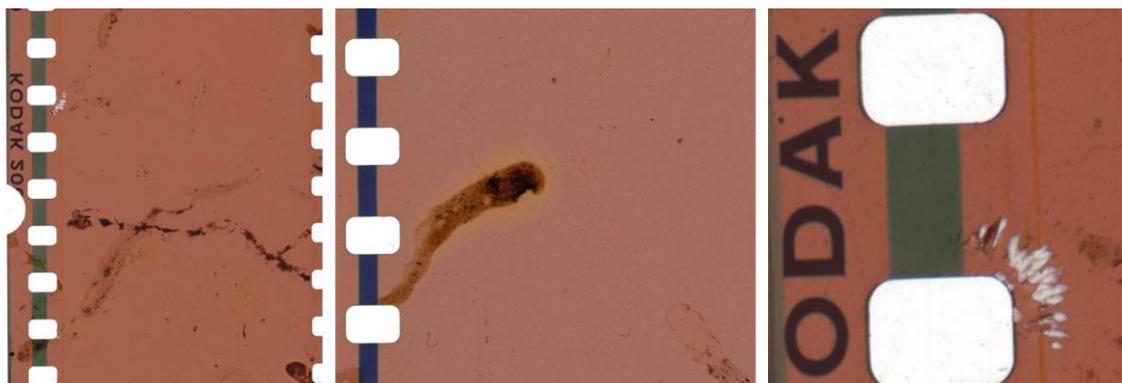
Fig. I.28 - Stampa fotomeccanica (collotipia) del 1910 sottoposta all'azione di *Blaptica dubia*



Figg. I.29, I.29a - Stampa fotomeccanica (formato stereoscopico), di fine Ottocento, con cartone di montaggio e particolare del danno. Vicino all'erosione si evidenziano gli stessi segni che sono stati riscontrati nelle pellicole mostrate in figura I.31b



Fig. I.30 - Stampa fotomeccanica (offset) colorata a mano (formato caroliniana), degli anni Cinquanta, sottoposta all'azione di *Blaptica dubia*



Figg. 1.31, 1.31a, 1.31b - Come si può osservare questi negativi a colori, degli anni Settanta, non sono stati erosi. Si notano vari imbrattamenti (fig. 1.31a) e vicino alla perforazione della pellicola i segni effettuati da *Blaptica dubia* con il suo apparato boccale masticatorio nel tentativo di erosione (fig. 1.31b)

1.2.4 Isoptera

Gli Isoptera, comunemente noti come termiti, sono insetti lucifughi in grado di attaccare qualsiasi tipo di materiale contenente cellulosa. Danneggiano i vari substrati dall'interno rispettandone gli strati superficiali - che rimangono pressoché integri - celando così all'esterno l'incessante lavoro di scavo. Le termiti sono particolarmente diffuse nei paesi tropicali e subtropicali. In Italia sono presenti le Kalotermitidae (termiti del legno secco): *Kalotermes flavicollis* (Fabricius) e *Cryptotermes brevis* (Walker); segnalata occasionalmente è la Rinotermitidae (termite sotterranea) *Reticulitermes lucifugus* (Rossi) (fig. 1.32).

Distinta su base genetica pochi anni or sono è *Reticulitermes urbis* (Bagnères & Clément), specie scoperta nelle zone urbane a sud-est della Francia (Bagnères *et al.*, 2003) e rilevata nel nord est dell'Italia. È nota la presenza di questa termite, morfologicamente non distinguibile da *R. lucifugus* (Rossi), a Bagnacavallo dove l'infestazione è stata studiata in un programma di monitoraggio-adesamento (Marini & Ferrari, 1998; Ferrari *et al.*, 2011; Ghesini & Marini, 2012). Da segnalare anche il ritrovamento di *Reticulitermes flavipes* (Kollar), originaria del Nord America, in Lombardia (Ghesini *et al.*, 2010, 2011).



Fig. 1.32 - Adulto alato di *Reticulitermes* sp.

Nella parte meridionale dell'Italia e nelle Isole è presente soprattutto *Kalotermes flavicollis* (fig. 1.33) (adulti alati di 10-12 mm, 6-8 mm senza ali) che attacca prevalentemente le radici e i tronchi di alberi vecchi o deperiti e, in ambiente urbano, può passare dalle piante dei giardini o dei viali cittadini alle strutture in legno di soffitti e tetti, agli infissi e ai mobili. Di solito il suo nido si trova, all'esterno degli edifici, nel terreno in vicinanza di legno da poter aggredire (le colonie sono formate da 1000-2000 individui). Da qui, con lunghi camminamenti di andata e ritorno e protetti dalla luce, questi insetti penetrano anche negli edifici frequentati dall'uomo dove effettuano la loro azione di erosione all'interno di materiali a base di cellulosa.



Fig. 1.33 - Adulto alato di *Kalotermes flavicollis*, detta anche termite dal collo giallo per il colore del pronoto, finita su una trappola entomologica a colla

Cryptotermes brevis (Walker) (adulti alati di 10-11 mm, 5 mm senza ali) è una delle termiti più pericolose per le strutture e per gli arredi lignei (cornici, mobili, porte, suppellettili). Il suo nido è rintracciabile in oggetti totalmente asciutti e isolati dai muri; nello stesso manufatto possono essere presenti diverse colonie che non superano le 300 unità. Le gallerie sono ampie e sgombre da escrementi; questi ultimi sono a forma di barilotto con sezione esagonale, come in *K. flavicollis*, a facce leggermente incavate, non si trovano mai attaccati alle pareti. Il danno da *C. brevis* (non sempre è identificabile, gli individui della colonia restano infatti all'interno del legno che viene totalmente svuotato lasciando integra solo una sottile pellicola esterna).

Presente in tutta l'area mediterranea è *Reticulitermes lucifugus* (Rossi) (adulti alati di 10-12 mm, 6 mm senza ali) che attacca principalmente le piante, agrarie e forestali, vecchie o deperite. In ambito urbano danneggia alberi di giardini e viali, da qui passa negli edifici ad infestare le strutture lignee di monumenti, chiese e abitazioni, come pure i reperti cartacei presenti nelle biblioteche e negli archivi. Le sue colonie sono formate da migliaia di individui (anche più di 10.000).

Il nido è costituito da una complessa rete di gallerie nello strato in superficie del terreno che si estende a radici, rami caduti a terra e ai materiali cartacei all'interno degli edifici. In tali strutture monumentali il nido può trovarsi anche a parecchi metri dal suolo, in presenza di infiltrazioni e ristagni d'acqua o per condensazione di umidità in ambienti con forti escursioni termiche (Liotta, 2001). Questa termite è in grado di determinare gravi danni ai materiali colpiti, in particolare se umidi. La sua sciamatura di solito avviene in primavera.

I danni irreparabili causati in tempi brevissimi - e che a volte arrivano a determinare la quasi totale distruzione della parte non esposta alla luce - si manifestano con erosioni di fattura irregolare e buchi profondi a forma di cratere e come melmose incrostazioni sui materiali. Mentre sono ben noti i problemi su volumi e documentazione cartacea e a carico delle strutture lignee degli edifici, non si è ancora avuta conoscenza di danni arrecati direttamente da tali insetti ai materiali fotografici. Le termiti sono tuttavia da ritenere potenzialmente dannose per le fotografie considerando che queste ultime sono composte degli stessi materiali dei manufatti conservati in archivi e biblioteche.

Subdola appare la modalità di attacco: il manufatto infestato viene internamente svuotato senza che si noti nulla dall'esterno, né fori né rosura. Volumi e faldoni apparentemente integri sono stati ritrovati infatti al loro interno completamente degradati (figg. 1.34-1.42); il segnale della loro attività talvolta può essere determinato da evidenze come i camminamenti (per restare così sempre al riparo dalla luce) realizzati con il fango e i prodotti della masticazione, per collegare il termitaio con l'ambiente destinato ad essere infestato.



Fig. 1.34, 1.34a - Faldone archivistico all'apparenza integro che dopo la sua rimozione dall'alloggiamento ha evidenziato il grave danno dovuto all'insediamento di termiti. La parte interna, che conteneva i documenti cartacei, è stata completamente distrutta e al suo posto si possono evidenziare le celle create dalle termiti con escrementi, terriccio e saliva

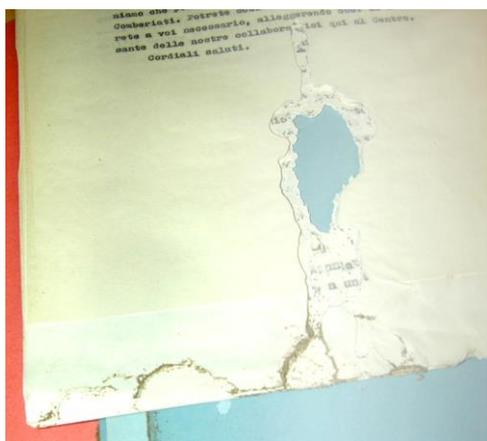


Fig. 1.35 - Particolare di faldone danneggiato da termiti. Le erosioni sono caratterizzate anche dalla presenza di residui di saliva, escrementi e terriccio



Fig. 1.36 - Particolare di faldone danneggiato da termiti. Visibili anche in questa immagine le erosioni caratterizzate dalla presenza di residui di saliva, escrementi e terriccio



Figg. I.37, I.38, I.39, I.40, I.41, I.42 - Particolari di volume danneggiato da termiti. Le erosioni sono caratterizzate anche dalla presenza di residui di saliva, escrementi e terriccio

1.2.5 Coleoptera

Delle numerose famiglie appartenenti ai Coleoptera, due in particolare, Dermestidae e Anobiidae, annoverano specie considerate dannose per il materiale fotografico. In generale i danni indotti da questi insetti rappresentano il 90% delle infestazioni ai materiali archivistici e librari. Sia nel caso dei coleotteri dermestidi sia in quello dei coleotteri anobidi l'attacco si verifica durante lo stadio larvale. Le piccole larve, dopo la schiusa, entrano in contatto con il materiale e iniziano a creare gallerie che aumentano di dimensione conseguentemente allo sviluppo. In caso di materiali molto danneggiati ogni centimetro cubico può contenere anche 2 o 3 larve.

In considerazione del fatto che i deterioramenti provocati e i materiali generalmente attaccati dai dermestidi sono differenti da quelli danneggiati dagli anobidi si è ritenuto opportuno descriverli separatamente.

I Coleoptera Dermestidae, con livree dai colori cupi e uniformi oppure variegata, comunemente riconosciuti dannosi per il materiale archivistico e librario appartengono ai generi *Anthrenus*, *Attagenus* e *Dermestes* (Roudabush, 1975; Flieder & Lavédrine, 1987; Wilhelm & Brower, 1993; Eastman Kodak Company, 2005).

Gli Antreni infestano abiti, animali imbalsamati, collezioni di insetti, droghe, farine, pelli e pellicce, semi, tessuti con lana e in seta. Gli adulti (di 2-4 mm) tondeggianti hanno il corpo con livree variegata (fig. 1.43), le larve sono lunghe 4-5 mm, di colore variabile dal bruno al nerastro e riconoscibili per i peli e le setole del corpo di colore nero riunite in ciuffi. Tra le specie più diffuse vi è *Anthrenus verbasci* (Linnaeus) i cui adulti frequentano anche i nidi di uccelli e i fiori dove si alimentano di polline e nettare. I danni maggiori si verificano ad opera delle larve piuttosto tozze e con abitudini lucifughe che impupano dove si sono sviluppate, senza scavare mai gallerie. Diffuso in ambito archivistico e librario è anche *Anthrenus museorum* (Linnaeus), lungo circa 3 mm di colore nero con setole bianche e gialle distribuite in forma irregolare e variabile.

I dermestidi sono riconosciuti come prevalentemente pericolosi per i materiali a base di sostanze di origine animale e quindi, considerando la loro predilezione per la gelatina (Flieder & Lavédrine, 1987), risultano potenzialmente dannosi anche per il materiale fotografico sul quale provocano erosioni (talvolta profonde), piccoli fori e gallerie. Roudabush (1975) descrive occasionalmente, su negativi e diapositive in materiale plastico, danni provocati da dermestidi del genere *Anthrenus* confinati ai bordi. L'autore ipotizza altresì che le intelaiature cartacee costituenti il montaggio di molte diapositive potrebbero fornire un punto di ancoraggio alle larve di tali insetti e quindi favorire il verificarsi del danno; questo aspetto naturalmente vale per tutti i montaggi cartacei delle immagini fotografiche. I dermestidi comprendono nei nostri luoghi il solo genere *Dermestes*, con una dozzina di specie. *Dermestes lardarius* (Linnaeus) lungo 7-9 mm, di colore nero con fascia giallastra maculata sulla parte prossimale delle elitre, buon volatore, veniva già da Houlbert nel 1903 annoverato tra gli insetti dannosi ai libri. Le sue larve, di forma conica e allungata, di colore bruno scuro e ricoperte di setole rossastre, dopo l'accrescimento migrano e possono scavare dei fori anche nei materiali lignei.



Fig. 1.43 - Adulto di *Anthrenus* sp. catturato in un ambiente di conservazione di materiali fotografici



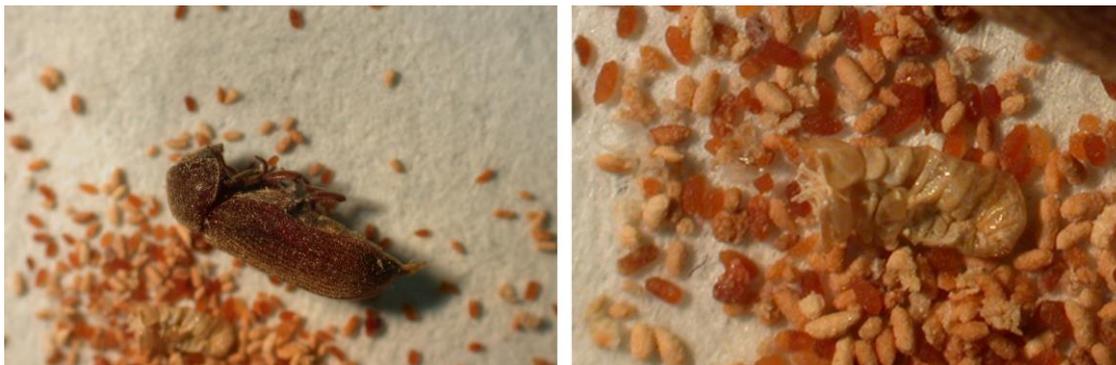
Fig. 1.44 - Adulti di *Attagenus* sp. catturati in ambiente di conservazione di materiali fotografici

Nell'ambito degli Attageni, coleotteri di modeste dimensioni (adulti di 3.5-5 mm) (fig. 1.44), le larve di colore nerastro-rossiccio e dalla forma conica allungata (3-5 mm) sono ricoperte di setole su tutta la superficie e talora riunite in ciuffi disposti all'estremità posteriore. Evitano la luce e se disturbate si raggomitano su se stesse fingendo di essere morte. Quando escono dalle uova sono molto piccole <1 mm, nel corso della loro crescita lasciano in giro varie esuvie, primi segni della loro presenza e di un possibile attacco.

I Coleoptera Anobiidae sono insetti che attaccano normalmente manufatti costituiti da sostanze di origine vegetale come ad esempio carta, cartone e legno. Sono in grado di alimentarsi della lignina e della cellulosa contenuta nella parete cellulare, grazie all'apparato boccale masticatore (presente sia negli adulti sia nelle forme larvali) e a microrganismi simbiotici (quali microfunghi, protozoi o batteri situati nelle cellule dell'epitelio dei ciechi intestinali); si tratta di una vera e propria endosimbiosi. Tali microrganismi vengono trasmessi alle nuove generazioni, direttamente dagli adulti, durante la ovideposizione grazie ad un liquido, prodotto da ghiandole annesse all'ovopositore, con cui imbrattano le uova. La larva neonata nutrendosi di parte del guscio ingerisce in tal modo i microrganismi che si moltiplicano e vanno a collocarsi nell'intestino.

Nell'ambito delle sottofamiglie degli Anobiidae, si menzionano anche i seguenti generi e specie, nelle Ernobiinae: *Gastrallus* (Duval), *Xestobium* (Motschulsky) [*Xestobium rufovillosum* (DeGeer)], *Ernobius* (Thomson) [*Ernobius mollis* (Linnaeus)]. Nella sottofamiglia Anobiinae: *Anobium* (Fabricius) [*Anobium pertinax* (Linnaeus), *Anobium punctatum* (DeGeer)], *Oligomerus* (Redtenbacher) [*Oligomerus ptilinoides* (Wollaston)] (figg. 1.45 e 1.45a), *Nicobium* (Leconte) [*Nicobium castaneum* (Olivier)] e *Stegobium* (Motschulsky) [*Stegobium paniceum* (Linnaeus)] (figg. 1.46 e 1.47).

Segnalato anche in Italia (a Genova) da Poggi (2007) vi è *Gastrallus pubens* (Fairmaire), presente in varie zone del Mediterraneo e dell'Africa. Probabilmente questa specie ha una diffusione nel nostro Paese maggiore di quanto sia noto. In natura frequenta legno morto con basso tenore di umidità, è in grado di attaccare libri e materiali cartacei (Not *et al.*, 2008; Zahradník, 1996, 2007).



Figg. 1.45, 1.45a - Adulto di *Oligomerus ptilinoides* catturato in ambiente di conservazione di materiali fotografici. Nell'ingrandimento (fig. 1.45a) si evidenzia una esuvia larvale ritrovata insieme alla polvere di rosura probabilmente appartenente a un individuo della stessa specie



Fig. 1.46 - Adulto di *Stegobium paniceum* finito su una trappola entomologica a colla



Fig. 1.47 - Larve di *Stegobium paniceum*

Della sottofamiglia Ptinidae, coleotteri minuti, convessi subovulari o subglobulari (detti falsi ragni), onnivori che danneggiano anche i tessuti, si menzionano principalmente i seguenti generi e specie, nelle Gibbinae: *Ptinus fur* (Linnaeus) e *Gibbium psylloides* (Czepinski) (figg. 1.48). *G. psylloides* si nutre di detriti di origine vegetale di varia natura e viene spesso ritrovato nelle scatole da imballaggio.



Fig. 1.48 - Esemplare di Ptinide (*Gibbium psylloides*) trovato all'interno di un contenitore di stampe alla gelatina degli anni Quaranta

Di piccolissime dimensioni (2-3 mm), il *G. psylloides* è caratterizzato dal corpo ovale e piuttosto ampio, con un torace molto stretto, globoso liscio e brillante che nasconde gran parte del capo. Le zampe e le antenne sono lunghe ed esili. Per il suo aspetto è facilmente identificabile. Questi insetti, allo stadio larvale, si alimentano scavando tortuose gallerie nel materiale infestato provocando danni irreversibili al patrimonio archivistico e librario. Negli stadi vitali, di pupa e adulto, non si nutrono.

Le gallerie degli Anobidi hanno un percorso irregolare e un diametro maggiore man mano che la larva cresce e aumenta di dimensioni; le tracce sono piene di rosume, di norma granuloso e incoerente. Al raggiungimento poi della maturità, la larva allarga ancora la galleria e la riveste di particelle di rosume ben incollate tra loro, costruendosi così la camera pupale per la trasformazione in pupa. Una volta completato lo sviluppo, l'adulto pratica un foro e sfarfalla verso l'esterno. Gli anobidi, le cui condizioni termogrometriche ottimali si attestano intorno a 28 °C e 70% di U.R., sono insetti resistenti alle basse e alle alte temperature; i parametri a loro letali si aggirano infatti sui -10 °C e sopra i 44 °C.

Potenzialmente dannose per il materiale fotografico possono essere ad esempio le specie *Stegobium paniceum* (L.) (adulto di 2-3,5 mm) e *Lasioderma serricorne* (Fabricius) (adulto di 3-4 mm). Il primo attacca sostanze secche di origine animale o vegetale, tra le quali biscotti e dolci, cacao, farine, frutta secca, pane, paste alimentari, spezie. Si trova tra carta e libri, tappeti e tappezzerie, nelle imbottiture di materassi, divani e poltrone. Danneggia anche erbari e collezioni zoologiche. Contrariamente ad altre specie di anobidi, rifugge la luce. Conosciuto per essere particolarmente dannoso al tabacco, grezzo o lavorato è *L. serricorne* che in realtà attacca cibi secchi per animali, crine vegetale e animale, farine, paste alimentari, frutta e pesce secco, semi di varie piante, spezie, tessuti ecc. Gli adulti delle due specie possono volare in condizioni di temperatura superiori a 22 °C.

Il deterioramento da anobidi, che si manifesta sotto forma di fori e gallerie a sezione circolare, è sia estetico sia strutturale; in manufatti di piccole dimensioni risulta particolarmente serio in quanto l'attività larvale può coinvolgere l'intero spessore dell'oggetto causando un danneggiamento grave. Il danno estetico, che può anche essere rilevante, è da imputare invece ai fori di sfarfallamento degli adulti e, sebbene di ridotte dimensioni, essi provocano un'alterazione della superficie. Nel caso di volumi cartacei l'attacco inizia in particolar modo dalle legature e dal dorso, per via delle colle utilizzate, per procedere poi verso l'interno (figg. 1.49 e 1.49a). Di seguito sono mostrati anche danni a documenti cartacei e pergamenacei (figg. 1.50, 1.50a e 1.51).



Figg. 1.49, 1.49a - Galleria scavata da anobidi sul dorso in pelle di un volume antico e gallerie all'interno dello stesso volume (fig. 1.49a)



Figg. 1.50, 1.50a - Foglio danneggiato da larve di anobidi che hanno determinato numerose lacune dovute alle gallerie. Nell'ingrandimento a destra (fig. 1.50a) è possibile visualizzare il tipico percorso tortuoso e irregolare delle gallerie in direzioni diverse



Fig. 1.51 - Pergamena con danni e fori prodotti da larve di anobidi

In caso di attacco a materiali lignei, se i fori di sfarfallamento comunicano con le gallerie larvali, è possibile anche la fuoriuscita di rosone. Quando invece l'infestazione è nella fase iniziale, le gallerie scavate dalle larve neonate, oltre ad avere una sezione ridotta, sono generalmente chiuse dai resti dei gusci delle uova e per tale motivo è impossibile la fuoriuscita di alcun materiale. Una volta che gli anobidi si sono insediati, l'infestazione del manufatto attaccato aumenta di intensità e procede in modo lento e costante con la possibilità di diffusione anche a oggetti e beni limitrofi.

Diversi danni sono stati rinvenuti nel corso di studi su cornici in legno che costituiscono uno dei tipi di montaggio di dagherrotipi e ambrotipi (fig. 1.52) (vedi capitolo 8).



Fig. 152 - Foro di anobide su cornice in legno di un ambrotipo della metà dell'Ottocento

Capitolo 2

I danni da Roditori

Dario Capizzi, Luciano Santini

In determinate situazioni negli ambienti archivistici possono essere presenti, come ospiti occasionali, organismi quali i roditori. Il loro ingresso e insediamento è determinato da strutture e condizioni igieniche non adeguate. La presenza di tale fauna è un fenomeno riscontrabile soprattutto nei depositi archivistici che naturalmente rende i locali inadatti ad una conservazione idonea. Questi animali si possono spesso rendere responsabili di danni, di varia tipologia ed entità, ai materiali conservati e a seconda delle specie coinvolte, delle densità di popolazione, e soprattutto dei substrati attaccati; tali danni sono più o meno consistenti e talvolta presentano una significativa rilevanza economica.

2.1 Le specie dannose più diffuse

I roditori deteriogeni dei materiali fotografici appartengono alla famiglia Muridae. Si tratta della famiglia più numerosa nell'ambito dei Mammiferi, che annovera più di 700 specie, suddivise in 150 generi. Le otto entità presenti in Italia sono tutte appartenenti alla sottofamiglia Murinae. Alcune specie, quali topi e ratti, avendo stabilito una relazione di parassitismo con l'uomo, sfruttando il trasporto passivo operato dalle imbarcazioni e dalle merci in movimento e grazie all'elevata plasticità ecologica che le contraddistingue, hanno colonizzato la quasi totalità delle terre emerse del Pianeta. Il potenziale riproduttivo è di norma elevato, la durata della vita è breve. Gli occhi e le orecchie sono sviluppati, così come la coda, costituita di anelli e coperta di peli assai ridotti. In virtù della spiccata tendenza alla sinantropia, tre specie (nell'ambito dei roditori, possibili deteriogeni dei materiali fotografici) possono rappresentare un problema all'interno degli archivi. Nella gran parte dei locali adibiti a deposito, il problema è costituito dalla presenza del Topo domestico il quale, a causa della sua piccola taglia, penetra con facilità all'interno delle strutture che non siano provviste di adeguate misure di esclusione. La presenza dei ratti è invece tipica delle situazioni di manifesto degrado ambientale, ove gli accorgimenti di esclusione siano assai carenti, ma può talvolta essere riscontrata anche in situazioni in cui le misure di profilassi siano apparentemente buone. In questo senso, la specie di gran lunga più importante è il Ratto dei tetti, il quale, una volta insediato, risulta assai difficile da combattere.

Il Ratto delle chiaviche, *Rattus norvegicus* (Berkenhout), denominato anche Ratto grigio o Surmolotto, è diffuso in tutto il territorio italiano e nelle isole maggiori, ad esclusione delle zone maggiormente elevate. La colorazione del mantello degli adulti si presenta marrone chiaro o marrone-grigiastro sulle parti superiori, talvolta grigio scuro, con il ventre grigio chiaro, sul quale possono essere presenti strisce o macchie bianche. Il pelo è all'apparenza piuttosto ispido. La specie può essere distinta dal Ratto nero da alcuni caratteri della morfologia esterna. Il Ratto delle chiaviche presenta una corporatura nettamente più robusta e dimensioni corporee superiori. Inoltre, il muso è meno appuntito, gli occhi più piccoli e le orecchie meno sviluppate, provviste di pelo molto fine, a differenza di quelle quasi glabre del Ratto dei tetti.

La coda del Ratto delle chiaviche è più spessa, e la sua lunghezza è inferiore a quella del corpo, mentre nel Ratto dei tetti avviene l'opposto (fig. 2.1).

Il segno più evidente della presenza del Ratto delle chiaviche sono gli escrementi che presentano spesso estremità appuntite, sono relativamente grandi e fusiformi, lunghi in media 12-15 mm, talvolta fino a 20 mm, e larghi 5-6 mm. Nelle strutture infestate sono visibili le erosioni prodotte da questa specie su materiali di vario tipo, soprattutto plastica e legno.

All'interno degli edifici, il ripetuto passaggio dei roditori lungo un determinato percorso è testimoniato in modo caratteristico dalle tracce di untuosità lasciate, in prossimità di muri, porte e bordi delle fessure, dallo sfregamento del pelo degli individui in transito. Il Ratto delle chiaviche colonizza pressoché esclusivamente le parti inferiori degli edifici nei quali è riuscito a penetrare. Si tratta di una specie attiva soprattutto durante le ore crepuscolari, meno capace nell'arrampicarsi delle altre specie commensali e non in grado di scalare pareti lisce o poco scabrose. È tuttavia assai abile nel risalire le tubazioni, utilizzando le zampe per puntellarsi contro le pareti (Lund, 1994). La specie presenta spesso una spiccata diffidenza verso gli oggetti nuovi e tale comportamento, denominato neofobia, fa sì che possano trascorrere lunghi periodi di tempo prima che esche e trappole siano visitate dai suoi individui (MacDonald & Fenn, 1994). È una specie dall'ampio spettro alimentare, in grado di adattarsi alle disponibilità più disparate. Presenta infatti un'alimentazione onnivora, composta da sostanze vegetali di vario tipo, da cibo di origine animale, da invertebrati e piccoli vertebrati, ma anche di carogne, nonché di qualunque residuo dell'alimentazione umana.

Il Ratto dei tetti o Ratto nero *Rattus rattus* (Linnaeus) è presente in tutto il territorio italiano, comprese le isole maggiori e minori, con popolazioni selvatiche diffuse soprattutto nelle aree costiere e in quelle di bassa e media collina, mentre nelle zone maggiormente elevate lo si ritrova solo nelle abitazioni umane.

I caratteri della morfologia esterna che consentono di distinguere questa specie da quella del Ratto delle chiaviche sono numerosi. La colorazione del mantello, sebbene generalmente differente, non può essere di aiuto, in considerazione della variabilità presente in entrambe specie. Il Ratto dei tetti presenta minori dimensioni corporee, il muso maggiormente appuntito e le orecchie più lunghe, quasi completamente prive di pelo. La coda appare più fina, e la sua lunghezza è superiore a quella del corpo, mentre nel Ratto delle chiaviche essa appare generalmente scura nella parte superiore e più chiara nella inferiore.



Fig. 2.1 - Individui adulti di Ratto delle chiaviche (*Rattus norvegicus*)



Fig. 2.2 - Individuo adulto di Ratto nero o dei tetti (*Rattus rattus*). Si possono notare gli occhi grandi e sporgenti e le orecchie molto sviluppate

La presenza del Ratto dei tetti negli insediamenti umani è facilmente comprovata dal rinvenimento dei caratteristici escrementi, con forma che varia dall'ovale al sub-cilindrico, lunghi generalmente 9-12 mm e larghi 2-3 mm, più piccoli e con le estremità meno appuntite rispetto a quelli del Ratto delle chiaviche. Nei contesti antropizzati la specie colonizza generalmente le parti alte, come soffitte, tetti, sottotetti e terrazzi e da qui penetra nelle aree interne. Come il Ratto delle chiaviche, lascia tracce untuose alla base delle pareti, sulle porte e sui bordi delle fessure che gli individui rasentano nei loro passaggi abituali. Il Ratto dei tetti è una specie ad attività notturna, assai abile nell'arrampicarsi e nello spostarsi velocemente su rami e cavi sospesi; può mostrare un comportamento marcatamente neofobico, consistente in una spiccata diffidenza per i nuovi oggetti o cibi posti nel suo territorio, come ad esempio trappole, erogatori o esche tossiche. Si tratta di una specie onnivora, in grado di cibarsi di un'ampia gamma di cibi di origine animale e vegetale, sebbene dimostri una maggiore preferenza per questi ultimi rispetto al Ratto delle chiaviche.

Presente nel bacino del Mediterraneo da millenni, il Topo domestico *Mus musculus* (Linnaeus), è distribuito in tutta Italia, comprese numerose isole minori (fig. 2.3).

Nell'ambito degli insediamenti umani anche la presenza del Topo domestico è testimoniata soprattutto dai caratteristici escrementi, lunghi 5-7 mm, larghi da 2 a 3 mm (fig. 2.4).



Fig. 2.3 - Topo domestico (*Mus musculus*). Visibili le orecchie e gli occhi ben sviluppati

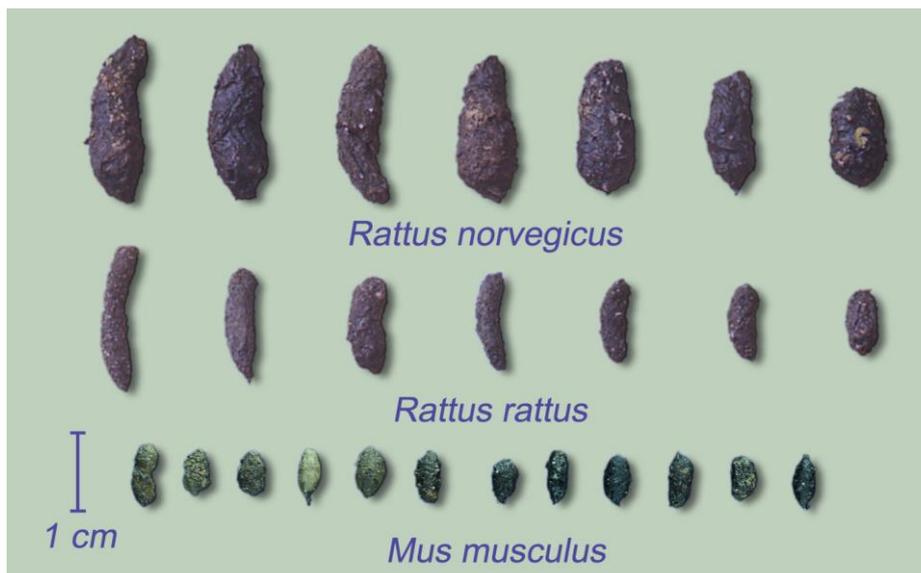


Fig. 2.4 - Escrementi delle tre specie di roditori sinantropici: Ratto delle chiaviche (*Rattus norvegicus*), Ratto nero o dei tetti (*Rattus rattus*) e Topo domestico (*Mus musculus*)

In prossimità delle piste più utilizzate sono spesso evidenti le tracce di grasso prodotte dallo sfregamento del pelo degli individui. Inoltre, nelle strutture infestate sono visibili le erosioni prodotte su materiali di vario genere, come gomma, legno, plastica, stoffa e carta, nonché gli accumuli di tali materiali nei luoghi dove gli individui si rifugiano (figg. 2.5 e 2.6).

Sebbene nelle zone a clima mite siano presenti popolazioni selvatiche, il Topo domestico è comunque una specie ormai stabilmente associata agli insediamenti umani di qualunque tipologia, dalle zone rurali alle grandi aree urbane. All'interno degli edifici questa specie può occupare i recessi più disparati, purché in grado di assicurare cibo e rifugio, muovendosi agevolmente attraverso le fessure più anguste, riuscendo così a spostarsi con facilità nell'ambito dello stesso edificio. Si arrampica con grande agilità ed è in grado di scalare pareti verticali purché presentino un minimo di scabrosità.



Fig. 2.5 - Residui di vari materiali ed escrementi di Topo domestico (*Mus musculus*) reperiti nell'ambiente



Fig. 2.6 - Nido di Topo domestico (*Mus musculus*) composto di materiali di varia natura, compresi residui cartacei

Contrariamente a quanto si riscontra nei ratti, il Topo domestico presenta una spiccata curiosità che lo spinge a visitare i nuovi oggetti che incontra sul suo percorso, così come ad assaggiare immediatamente le nuove fonti di cibo (Lund, 1994). Il nido, collocato in qualunque luogo riesca ad offrire protezione e isolamento termico, è costruito con materiali di varia natura rinvenuti nell'ambiente, soprattutto carta, tessuti, plastica ed erbe. È una specie che mostra una notevole plasticità ecologica, con particolare riguardo alla dieta. Rivolge una spiccata preferenza per i cereali, ma è in grado di cibarsi di alimenti e materiali di ogni tipo. A differenza dei ratti, i quali non possono trascorrere più di alcuni giorni senza bere, il Topo domestico presenta un fabbisogno idrico estremamente ridotto.

2.2 Tipologie di danno

I danni arrecati dai roditori consistono nelle erosioni apportate innanzitutto allo scopo di ottenere materiali per la costruzione del nido quindi per conseguire l'affilamento dei denti incisivi, i quali sono a crescita continua. Un'ulteriore azione dannosa consiste nella contaminazione dell'ambiente con i loro escreti (urine, feci, grasso). Infine non va trascurato il problema della trasmissione di zoonosi alle persone che frequentano l'ambiente interessato dall'infestazione.

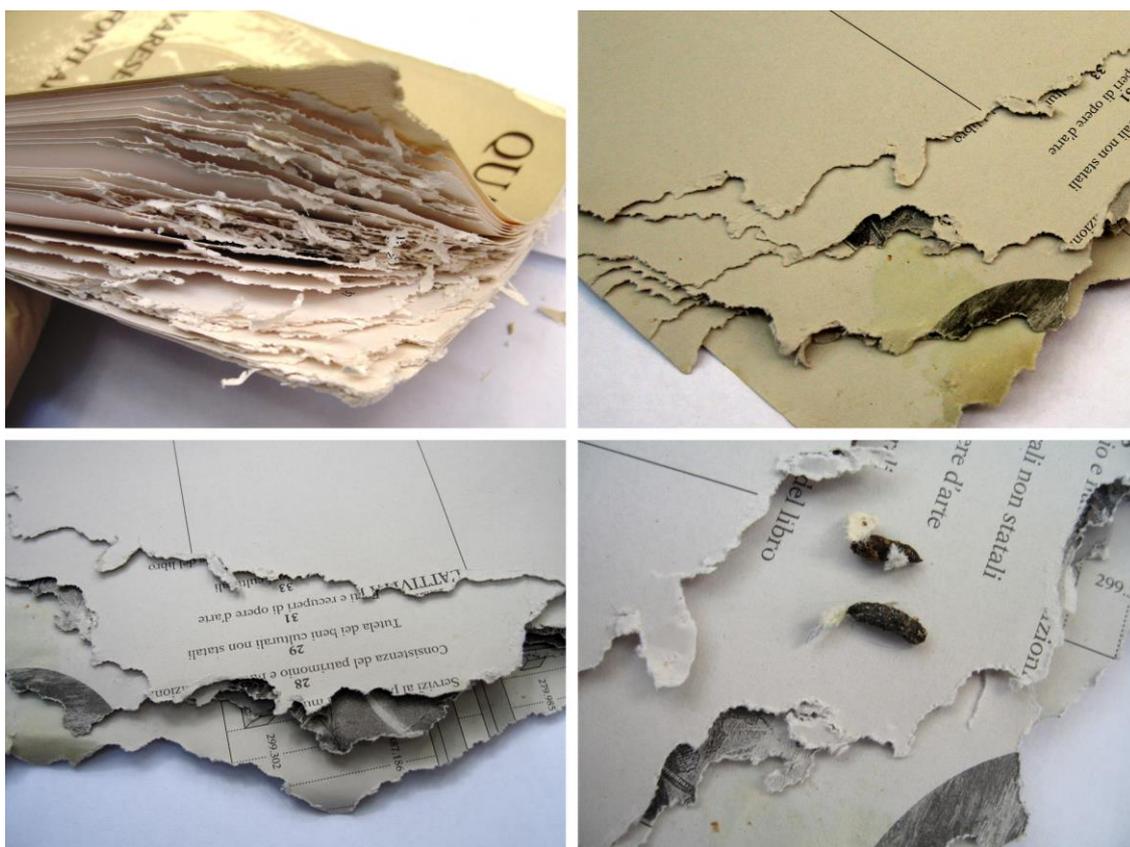
Il principale danneggiamento arrecato al materiale costitutivo dei beni archivistici e librari è quello dell'erosione; i roditori infatti, come si accennava, a causa della peculiare necessità di affilare i denti incisivi, manifestano la tendenza ad erodere substrati di vario tipo, inclusi i materiali plastici. Sebbene per tutti questi mammiferi presenti negli edifici abitati dall'uomo si sia riscontrata l'abitudine ad imbottire il nido con qualunque materiale in grado di offrire un confortevole isolamento termico, sono soprattutto le specie di piccola taglia, come il Topo domestico, ad esibire una spiccata tendenza verso tale comportamento. Il materiale cartaceo di ogni genere risponde a questa necessità e viene accumulato in qualunque recesso offra adeguato riparo.

L'azione dannosa è particolarmente rilevante nel caso dei materiali fotografici, dei quali anche solo una piccola erosione può inficiarne il valore documentale.

Qualunque sia la ragione per cui le erosioni vengono prodotte, il materiale corre il rischio di essere pressoché distrutto in un tempo assai rapido. Osservazioni su alcuni individui di Topo domestico mantenuti in cattività indicano che fotografie di dimensioni ordinarie 10x15 cm possono essere irrimediabilmente danneggiate nel giro di poche ore come del resto materiali cartacei di vario genere (figg. 2.7, 2.7a, 2.7b, 2.7c e 2.8). L'azione negativa dei topi può essere agevolmente distinta da quelle dei ratti analizzando e comparando le dimensioni dell'incisione e la distanza fra gli incisivi.

Un altro danno arrecato dai roditori ai materiali cartacei o fotografici è quello dovuto ai loro escreti (soprattutto feci e urine) in quanto microrganismi di vario tipo possono svilupparsi grazie alla presenza di queste sostanze contaminanti. Nell'ambito del proprio territorio, i roditori tendono a deporre le loro feci e le urine sempre negli stessi punti. Tale comportamento è particolarmente spiccato nel Topo domestico, i cui individui possono dare luogo a significativi accumuli di escreti alti diversi millimetri.

Nella figura 2.9 viene presentato un contenitore di negativi su vetro alla gelatina-bromuro d'argento dei primi del Novecento eroso da roditori; nelle immagini di seguito sono mostrati alcuni materiali (negativi su pellicola in acetato di cellulosa, poliестere, stampe su carta a sviluppo cromogeno, stampe fotomeccaniche) che hanno subito in varia misura danni da parte di roditori di piccole dimensioni. Si possono evidenziare oltre alle erosioni, i danni determinati dalle unghie e alcuni resti biologici rappresentati dai peli del roditore adesi insieme agli escreti (figg. 2.10-2.14d).



Figg. 2.7, 2.7a, 2.7b, 2.7c - Documentazione danneggiata da Topo domestico (*Mus musculus*) mantenuto in cattività. Visibili le macchie di urina e gli escrementi lasciati (fig. 2.7a e 2.7c)



Fig. 2.8 - Copertina di rivista danneggiata da Topo domestico (*Mus musculus*) mantenuto in cattività



Fig. 2.9 - Contenitore di negativi su vetro alla gelatina degli anni Trenta danneggiato da roditori, rinvenuto in un deposito archivistico. Nelle vicinanze della scatola sono stati ritrovati anche escrementi che hanno confermato i responsabili del danno



Fig. 2.10, 2.10a - Pellicole cinematografiche in acetato di cellulosa degli anni Ottanta danneggiate da roditori di piccola taglia. Evidenti sono le erosioni



Fig. 2.11 - Negativo in poliestere degli anni Novanta eroso da roditori



Figg. 2.12, 2.12a, 2.12b - Stampa fotomeccanica (offset) degli anni Novanta (recto e verso) erosa da roditori. Visibili, oltre alle erosioni localizzate sui margini della stampa, sono le macchie dovute agli escreti



Figg. 2.13, 2.13a - Stampa alla gelatina degli anni Settanta completamente erosa da roditori sia sul recto sia sul verso. Visibili sono le macchie dovute agli escreti



Figg. 2.14, 2.14a, 2.14b, 2.14c, 2.14d - Stampa a colori a sviluppo cromogeno plastificata degli anni Novanta (recto e verso) danneggiata da roditori. Nei dettagli (figg. 2.14b, 2.14c e 2.14d) sono evidenti, oltre alle erosioni, i danni determinati dalle unghie e dai resti biologici

Non vanno trascurati altri importanti aspetti legati alla presenza dei roditori negli archivi. Con riferimento all'azione erosiva del materiale plastico, della gomma e degli isolamenti elettrici, particolarmente dannosa è l'azione dei ratti di entrambe le specie i quali, a cagione delle loro grandi dimensioni e della potenza delle loro mandibole, se presenti in un archivio anche solo con pochi individui, possono provocare corto-circuiti, con non trascurabili rischi di incendio. In considerazione della presenza di numerosi materiali cartacei, le conseguenze prodotte possono essere gravi.

Infine, anche qualora la presenza di tali infestanti non arrecasse alcun danno ai materiali conservati, l'immagine dell'istituzione ne verrebbe comunque danneggiata significativamente. Infatti, il semplice rinvenimento di tracce e segni di roditori (escreti, peli o accumuli di materiali) testimonierebbe le precarie condizioni, in termini di igiene e di profilassi della struttura ospitante le collezioni fotografiche.

Capitolo 3

Aspetti di conservazione preventiva

Massimo Cristofaro, Donatella Matè

La conservazione è una materia vasta, articolata e prevede un'attività multidisciplinare di ricercatori e tecnici che spazia in settori quali chimica, geologia, entomologia, biologia molecolare, ingegneria strutturale, ambientale e impiantistica, radiologia, cromatografia, spettrofotometria ecc.

Per assicurare una salvaguardia adeguata a materiali altamente composti e deteriorabili come quelli fotografici, essi sono stati inclusi dal 1999 tra i beni culturali disciplinati a norma (D.Lgs 29 ottobre 1999, n. 490, "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 Gazzetta Ufficiale n. 302 del 27 dicembre 1999 - Supplemento Ordinario n. 229, art. 2 e 3 - Titolo 1). In tal modo è possibile predisporre un programma di "conservazione preventiva" che, attraverso un insieme di azioni che abbracciano svariati ambiti di intervento, si ponga come obiettivo prioritario quello di contenere al massimo il progredire del deterioramento, processo inarrestabile, spontaneo e continuo (De Guichen, 2003; Menegazzi, 2003).

La conservazione preventiva è stata definita dall'International Council of Museums Committee for Conservation (ICOM-CC), nel 2008, come: "tutte le misure e azioni volte a prevenire e minimizzare il futuro deterioramento o la perdita (del bene culturale), realizzate nel contesto e nell'ambiente di conservazione dell'oggetto, ma più spesso di un gruppo di oggetti, di qualunque periodo e condizioni". Un piano di conservazione preventiva si rivela dunque un atteggiamento efficace per tutelare l'integrità dei beni archivistici e librari, soprattutto di quelli fotografici particolarmente fragili; inoltre, dal punto di vista economico, produce un vantaggio non indifferente in quanto determina un'importante riduzione delle eventuali operazioni di restauro e di onerosi interventi di recupero di grandi quantità di materiali.

L'interesse nei confronti della disciplina della conservazione preventiva è dovuto anche all'affermarsi di nuove strategie riguardanti il controllo dei parametri fisici (quali temperatura, umidità relativa, radiazioni luminose) e chimici (inquinanti *indoor*), principalmente coinvolti e co-responsabili nei processi di degrado abiotico e biotico dei beni culturali tenuti all'interno di archivi e biblioteche. A tale strategia è seguita la messa a punto di un programma di difesa di tipo *Integrated Pest Management* (IPM), molto simile a quello già ampiamente sperimentato con successo per il controllo degli organismi infestanti in agricoltura.

La lotta integrata agli organismi infestanti è complessa e richiede strategie sostenibili ben studiate e appositamente sperimentate che prevedano l'utilizzo di ogni metodo idoneo – in successione e/o in complementarietà – con l'obiettivo di realizzare un contenimento "territoriale" delle infestazioni, privilegiando i sistemi meno rischiosi. A tale scopo, uno studio attento delle interazioni tra ambiente e possibili cause di deterioramento dei materiali può consentire l'individuazione delle potenziali situazioni di rischio, consentendo di prevenire o almeno limitare numerosi danni.

Vista l'importanza che un programma di IPM riveste, si ritiene di doverne delineare seppure sinteticamente e in maniera generale gli aspetti fondamentali.

3.1 Sistemi di prevenzione e controllo degli infestanti

Ogni archivio fotografico, come del resto ogni realtà che ospiti un bene culturale, ha il compito di gestire e curare le proprie collezioni garantendone la fruizione con criteri di conservazione preventiva, tenendo principalmente in considerazione le condizioni ambientali. L'“Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei” (D.Lgs. n. 112/98, art. 150, comma 6 - Gazzetta Ufficiale n. 244 (supplemento), 19 ottobre 2001, fascicolo 238, Ambito IV, Roma), è il documento che a livello nazionale fornisce indicazioni generali sulle azioni di conservazione preventiva da intraprendere e pur essendo specificatamente rivolto ai musei, viene recepito anche da archivi e biblioteche.

Corrette procedure di gestione e di manutenzione consentono un adeguato mantenimento dei beni e delle strutture in cui sono conservati con una ricaduta in termini di migliore gestione economica delle risorse. A tal fine è necessario impostare una metodologia di analisi che permetta una ricognizione complessiva dello stato di fatto delle strutture nel loro insieme e delle opere in esse contenute, tenendo conto dell'involucro edilizio, degli spazi interni ed esterni, delle condizioni microclimatiche/ambientali, dei sistemi impiantistici, dello stato di conservazione dei beni e degli apparati decorativi.

Propedeutica in un programma generale di conservazione preventiva, è una ispezione generale delle strutture degli edifici nel loro insieme e dei locali adibiti ad accogliere la documentazione con una raccolta di dati che possa costituire una base fondamentale per evidenziare eventuali criticità, stabilire priorità ed individuare gli obiettivi da raggiungere a breve, medio e lungo termine.

Rilevamento dei parametri termoigrometrici e delle radiazioni luminose, monitoraggio degli inquinanti presenti nell'aria (chimici e biologici) ed eventuale predisposizione di impianti di climatizzazione o di dispositivi utili ad effettuare un condizionamento passivo, alloggiamento in arredi, contenitori e involucri a norma, manipolazione e movimentazione secondo criteri definiti, depolveratura e igiene dei locali e dei materiali, sono gli interventi basilari che caratterizzano un programma di conservazione preventiva.

Momenti importanti sono anche le periodiche attività ispettive che consentono l'individuazione tempestiva dei danni (soprattutto nel caso in cui si tratti di un danno di tipo biologico) e la programmazione di interventi di manutenzione e di restauro. Nell'ambito di tali attività si inserisce la prevenzione dagli infestanti, sovente sottovalutata e che si basa sulla conoscenza dei costituenti i beni e degli organismi deterioranti, su una sorveglianza accurata dei locali, su una rimozione e ispezione dei materiali, su una depolveratura e scrupolosa igiene di tutte le superfici.

Il piano IPM deve essere correlato all'edificio, ai materiali ivi conservati e alle varie attività svolte; deve basarsi su competenze e capacità disponibili e inoltre deve essere pratico e perseguibile. Fase iniziale per ogni programma di IPM è un'attenta ispezione delle strutture dell'edificio (si deve considerare infatti che le superfici murarie degradate sia esterne sia interne possono fornire innumerevoli cavità o punti di appoggio/entrata per artropodi e roditori), degli ambienti adibiti a conservazione e delle collezioni per riportare lo stato di eventuali infestazioni passate e presenti, nonché per segnalare la potenzialità di quelle future. La maggiore difficoltà di tali ispezioni, nel momento in cui venga registrato un danno biotico, si riscontra nel diagnosticare se tale danno si riferisca ad una vecchia infestazione (e quindi l'organismo infestante non sia più presente), oppure ad una nuova (ancora attiva o in diapausa) che necessiti quindi di un immediato intervento di disinfezione, di controllo e di monitoraggio.

Fori e/o gallerie nei materiali archivistici e librari non svaniscono infatti con l'elimina-

zione della causa (popolazione dell'organismo infestante).

Solo l'attivazione di personale altamente qualificato, associata ad una gestione basata su un programma di monitoraggio che preveda l'impiego di trappole, possono dare una risposta a tale quesito e individuare le eventuali dimensioni del problema nonché la strategia di diffusione dell'organismo dannoso. Accertata la presenza del problema, si deve immediatamente passare alla fase del riconoscimento tassonomico del/degli organismo/i implicato/i nell'infestazione e della loro distribuzione spaziale nel locale di conservazione.

La strategia di colonizzazione adottata dagli organismi infestanti può variare da specie a specie ed è sempre relazionata alla distribuzione del substrato alimentare. Vi sono infatti alcuni insetti con una strategia che segue un andamento di tipo "a macchia d'olio", ovvero partendo dal punto "sorgente dell'infestazione", mano a mano si allargano in tutte le direzioni seguendo il gradiente "cibo"; altri, invece, che colonizzano l'ambiente seguendo un sistema a "macchia di leopardo", con una distribuzione irregolare. Questo ultimo tipo di infestazione è noto soprattutto in specie che temono la competizione larvale intraspecifica (larve che competono per il substrato alimentare o che possono persino mostrare in casi di sovrappopolamento forzato un comportamento di cannibalismo nei confronti di uova/larve/pupe della stessa specie).

Il metodo più ricorrente per l'individuazione delle infestazioni attive e per la identificazione/valutazione dei sistemi di controllo utilizzati è l'impiego di trappole entomologiche distribuite nell'ambiente da sorvegliare. Tali trappole vanno distinte in due gruppi: generaliste e specifiche. Le prime si fondano su sistemi di cattura basati su attrattivi generici, come ad es. la luce nelle trappole luminose o il colore giallo nelle trappole cromotropiche (fig. 3.1), oppure semplicemente la colla nelle trappole adesive o pareti lisce nelle trappole a caduta. Invece, le trappole specifiche sono innescate da sostanze attrattive (feromoni o alimenti) il più possibile associate alla specie infestante (fig. 3.2). Le trappole generaliste quindi sono più adatte per realizzare monitoraggi di tipo preventivo (senza sapere quali specie infestanti siano eventualmente presenti in alcune aree dell'ambiente adibito a deposito), le seconde invece sono più idonee nel valutare l'efficacia della strategia di lotta usata per uno specifico organismo infestante di cui si conosce già l'identità e – approssimativamente – le dimensioni della popolazione. Le trappole devono essere collocate in punti referenziati e controllate periodicamente da personale specializzato. I vari tipi di trappole verranno trattati nel paragrafo 5.1.1.



Fig. 3.1 - Trappola generalista cromotropica



Fig. 3.2 - Trappola specialistica ad imbuto che viene innescata con feromone

Sebbene vi siano da seguire linee guida già definite per conservare (dal punto di vista fisico-tecnico) i beni culturali, mettendo in atto “adeguate condizioni microclimatiche”, non è possibile estrapolare la problematica generale di una corretta conservazione da quella che è la realtà specifica italiana, dove le collezioni e gli archivi sono molto spesso ospitati in edifici storici che non posseggono i requisiti fisici-strutturali richiesti (art. 6 del D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, “Codice dei beni culturali e del paesaggio ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 45 del 24 febbraio 2004 - Supplemento Ordinario n. 28).

Pertanto, qualsiasi intervento strutturale non può prescindere da tre variabili indipendenti: struttura dell'edificio ospitante, tipologia dei materiali storici archiviati e personale/visitatori fruitori.

1. Edificio ospitante. Questo è collocato in uno specifico contesto ambientale e climatico che necessita di interventi per determinare condizioni microclimatiche interne in grado di proteggere i beni da danni biotici e abiotici. Purtroppo l'edificio (e/o la zona in cui esso è collocato) risulta spesso soggetto a vincoli artistici che non consentono (o perlomeno rendono estremamente difficile) qualsiasi forma di “messa a norma” per l'uso come “archivio di beni culturali”.
2. Materiali storici archiviati. Oltre a quelli costitutivi i beni archivistici e librari, nei locali di conservazione sono presenti anche altri materiali propri della struttura dell'ambiente. Ognuno di questi potrebbe essere soggetto a danni biotici e abiotici specifici e quindi dovrebbe essere considerato ed eventualmente trattato singolarmente. Inoltre è necessario valutare attentamente la storia pregressa di ogni bene, intervenendo in caso di necessità con un adeguato restauro e – soprattutto – con un periodo di “quarantena e decontaminazione” prima che possa essere collocato nel locale di conservazione.
3. Personale/visitatori fruitori. Si deve dare la possibilità al personale addetto di avere accesso alle collezioni, sia per la manipolazione e consultazione sia per la necessaria attività tecnica di supporto/monitoraggio/gestione. La consultazione della documentazione dovrebbe essere effettuata in appositi locali, possibilmente non troppo distanti dall'ambiente conservativo (anche per ottimizzare la movimentazione), predisposti per lo scopo e con criteri di manipolazione ben definiti, a seconda delle varie tipologie di materiali.

Non sempre è possibile predisporre un edificio o un locale *ad hoc* per la conservazione dei materiali e spesso, dopo aver effettuato approfondite verifiche tecniche, si deve cercare solo di migliorare una situazione preesistente. Si possono cioè adottare interventi preliminari volti al risanamento del locale eliminando tutte quelle carenze strutturali che potrebbero compromettere nel tempo la sicurezza dei beni. In generale non sono comunque da tenere in considerazione tutti quei locali non adeguatamente coibentati o dotati di grandi vetrate, di aperture e finestre, per via della dispersione termica e per l'irraggiamento (radiazioni UV e IR) eccessivo che potrebbero ricevere. Anche i piani terra, seminterrati o interrati, sebbene freschi, sarebbero da evitare perché possono essere caratterizzati da valori elevati di umidità relativa e/o esposti al rischio di allagamenti, e/o soggetti a risalite capillari di umidità e quindi in grado di favorire lo sviluppo di eventuali inquinanti e infestanti. Sconsigliati anche i sottotetti, in quanto non sufficientemente coibentati e difficili da climatizzare, poiché possono risentire di elevati sbalzi termici e di possibili infiltrazioni di acque meteoriche.

I rischi di un attacco da insetti e roditori sono connessi sia alle caratteristiche del manufatto sia a quelle dell'ambiente conservativo (struttura, ubicazione geografica e clima). Nel caso in cui ad esempio un archivio fosse disposto in un ambiente strutturato con travi in legno risulterebbe opportuno adottare alcuni accorgimenti come

l'isolamento delle testate dalle murature, la realizzazione di apposite nicchie di alloggiamento delle travi per consentire una migliore aerazione (possibilmente con pareti in mattoni pressati) e un più facile assorbimento e cessione dell'umidità o l'inserimento di materiali isolanti sulla base di appoggio delle travi stesse (Liotta, 2001).

3.2 Azioni di conservazione preventiva

Riassumendo, una strategia adeguata da mettere in atto in qualsiasi archivio fotografico o fototeca mira ad azioni di conservazione preventiva indispensabili per rallentare i processi di degradazione (di natura chimica, fisica e biologica) dei beni fotografici e per garantirne quindi la conservazione a lungo termine (Adcock, 1999; Bertini, 2002, 2005; Matè & Residori, 2002a; Reifsnnyder, 2002; Adcock *et al.*, 2005; Pasquariello *et al.*, 2005; Ritzenthaler & Vogt-O'Connor, 2006; UNESCO, 2014). In tale strategia l'approccio multidisciplinare prende in considerazione sia la tipologia dei materiali costitutivi i beni nonché il loro stato di conservazione, sia i locali adibiti all'alloggiamento degli stessi. I monitoraggi permanenti e le attività ispettive, comprensive di controlli periodici a campione, consentono di verificare situazioni che presentano le diverse criticità.

3.2.1 Monitoraggio e controllo ambientale

Il monitoraggio microclimatico prende in considerazione principalmente fattori fisici quali la temperatura ambientale e l'umidità relativa, ma anche la velocità dell'aria e l'irraggiamento termico naturale ed artificiale. Inoltre, per caratterizzare in modo appropriato un ambiente è importante valutare anche la qualità dell'aria *indoor*, in quanto i locali adibiti a conservazione sono per la maggior parte ubicati in zone urbanizzate e quindi con una consistente presenza di inquinanti fisici, chimici e biologici. Grazie a queste fasi di studio, che hanno incontrato un grande interesse da parte dei conservatori, è possibile impostare un programma di controllo adeguato mediante sistemi di condizionamento passivo per giungere ad una configurazione di equilibrio termodinamico dell'ambiente o, nel caso in cui tali sistemi non si mostrassero efficaci, mediante la progettazione di impianti di climatizzazione predisponendoli alle temperature adeguate per le varie tipologie di materiali da conservare.

L'analisi, la correlazione e l'evoluzione nel tempo dei vari parametri rilevati nell'ambiente da sistemi multi-acquisitori, generalmente in continuo e contemporaneamente, possono essere indicativi del tipo d'interazione che sussiste tra materiale custodito e locale di conservazione e determinare se esistono le condizioni affinché i valori raccomandati possano essere mantenuti. Il monitoraggio microclimatico permette quindi di stimare l'idoneità di un ambiente conservativo e di analizzare e quantificare i vari parametri nonché di seguire il cambiamento dei fenomeni che essi possono indurre sui beni.

Le indagini microclimatiche e della qualità dell'aria (mediante la misura dei vari inquinanti chimici e biologici: O₃, SO₂, NO₂, CO₂, ioni solubili nel particolato, concentrazione del PTS - Particolato Totale Sospeso e del PM10 oltre alla carica microbica totale dell'aria), al fine di poter valutare correttamente tutti i dati, devono essere svolte seguendo dei precisi criteri e per un periodo di almeno un anno in modo da includere dati riferiti alle varie stagioni; sarebbe utile altresì che venissero effettuate quando nell'ambiente non è stata ancora alloggiata la documentazione per poter eseguire misure in assenza di eventuali inquinanti rilasciati dai materiali stessi (MiBAC, 2001).

Nel panorama nazionale, l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) rimanda alla norma UNI 10829 del 1999 che rappresenta un punto di riferimento fondamentale stabilendo linee guida per il monitoraggio dei parametri microclimatici ai fini conservativi. Tale norma prescrive una metodologia per la misurazione in campo delle grandezze ambientali termoigrometriche e di illuminazione, fornendo altresì indicazioni relative alle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati (UNI 10829:1999). Anche la UNI-EN 15757 del 2010 costituisce una guida che specifica i livelli di temperatura e umidità relativa per limitare i danni fisici che il clima possa causare ai materiali organici igroscopici che sono stati tenuti immagazzinati per lungo tempo (oltre un anno) in mostre, in ambienti interni come musei, gallerie, depositi, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici antichi e moderni (UNI-EN 15757:2010). Tale norma sostituisce la UNI 10969:2002 "Beni culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni", ritirata nel 2010.

Come accennato, ove non sia possibile migliorare la qualità del microclima mediante sistemi di condizionamento passivo, certamente meno onerosi e di più facile gestione, si può ricorrere alla realizzazione di impianti di climatizzazione provvisti di filtri ad alta efficienza, per evitare il passaggio degli inquinanti aerodispersi (componenti gassosi e particolato). Per contenere l'ingresso di inquinanti chimici e biologici esistono diversi filtri ad alta efficienza (filtri HEPA - *High Efficiency Particulate Air filter* e filtri ULPA - *Ultra Low Penetration Air* in grado di trattenere il 99,97% delle particelle >0,3 µm di diametro, filtri elettrostatici e letti adsorbenti in carbone attivo per le sostanze gassose o sotto forma di vapore). Il sistema, che deve essere in grado di fornire anche una ventilazione forzata associata ad una distribuzione di aria a T e U.R. controllate, necessita di controlli periodici e di manutenzione per evitare rischi di contaminazione biologica dell'aria confinata. L'impianto dovrebbe inoltre essere fornito di indicatori ed attuatori che possano segnalare e correggere eventuali scostamenti.

Da tenere presente che, in base alla norma UNI 10586:1997 "Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti", un impianto di condizionamento deve assicurare: 5-7 ricircoli ogni ora (il numero di ricambi d'aria per ora serve a ridurre al minimo le fluttuazioni di umidità relativa), un ricambio di aria del 10-20% della massa circolante e assenza di polveri.

Sarebbe auspicabile che le operazioni di depolveratura su arredi e contenitori fossero eseguite periodicamente da personale qualificato secondo criteri definiti e che le apparecchiature utilizzate per rimuovere la polvere fossero dotate di filtri HEPA, da sostituire o pulire periodicamente, per limitare la dispersione della polvere in ambiente. Analogamente l'igiene dei locali, operazione anche questa da non sottovalutare, dovrebbe essere effettuata con periodicità mediante dispositivi idonei, panni antistatici e prodotti come alcool etilico o detergenti a base di ammonio (e non a base di cloro).

È noto che lo sviluppo delle spore depositate con la polvere sui materiali è correlato alle condizioni termoigrometriche ambientali, per cui valori di umidità relativa superiori al 55% e temperature oltre i 20 °C sono limiti da non superare. A tal proposito l'Atto di indirizzo prescrive, per la prevenzione di attacchi microbiologici sui manufatti cartacei, valori compresi tra 40-55% di U.R. e T di 18-22 °C. La valutazione delle condizioni termoigrometriche, e il relativo controllo, è rilevante altresì per contenere la proliferazione degli insetti e degli acari, anche se la maggior parte delle specie che interessano i beni culturali mostrano una notevole tolleranza ad ampi *range*. Da notare che roditori e piccioni, in quanto vertebrati omeotermi, non subiscono l'influenza dei fattori ambientali.

Un'adeguata ventilazione dei locali riesce a contrastare non solo lo sviluppo di molti insetti "disturbandone" in vari casi l'andamento del ciclo vitale, ma anche a ridurre le

escursioni termiche, prevenendo quindi i fenomeni di condensa; in tal modo è possibile impedire la formazione nell'ambiente di zone di alta umidità favorevoli alla moltiplicazione e alla crescita di numerosi organismi.

Anche la tipologia del substrato può essere determinante: una superficie più o meno rugosa, oltre ad essere un ricettacolo di polvere, contribuisce a facilitare la deposizione delle uova di alcune specie. Da tenere in considerazione che un insetto per riprodursi deve comunque nutrirsi e trovarsi nelle condizioni ambientali ideali per la sua specie, altrimenti smette di alimentarsi e si indebolisce non riuscendo a completare il proprio ciclo.

A tal proposito, per una migliore comprensione dei rapporti che possono intercorrere tra organismi ed habitat, di seguito si riportano alcune considerazioni sui fattori ambientali che influenzano gli insetti, la loro vita e il loro sviluppo.

3.2.1.a I fattori abiotici-ambientali di influenza sugli insetti

La conoscenza del rapporto che gli insetti nocivi ai beni, ma anche di quelli occasionali i quali possono rappresentare una risorsa trofica rilevante, hanno con l'ambiente in cui vivono, si rivela di grande interesse. Infatti consente di stabilire tra l'altro le possibili aree di distribuzione degli insetti, l'andamento del ciclo biologico, il probabile numero di generazioni, la possibilità di un maggiore o minore adattamento a quel determinato ambiente e microclima.

In generale la presenza e la diffusione degli insetti nell'ambiente varia considerevolmente con i diversi fattori abiotici-ambientali (temperatura, umidità, natura chimico/fisica del substrato e dell'acqua, correnti d'aria, luce ecc.) e l'influenza che essi riescono ad esercitare è in grado di condizionare il numero di generazioni e la moltiplicazione degli individui. Anche i fattori biotici (relazioni con altri organismi viventi, effetti della densità intraspecifica ecc.) unitamente alle risorse trofiche hanno un grandissimo rilievo, in quanto la sopravvivenza di una specie è strettamente correlata ad essi.

La temperatura è probabilmente il fattore più importante e può influenzare la durata del ciclo biologico determinando in alcune specie la capacità di avere più generazioni in un anno. Fondamentalmente essendo gli insetti per lo più pecilotermi, la loro temperatura è in condizioni di riposo non superiore a quella esterna (un aumento si può determinare in seguito a contrazioni muscolari o all'energia radiante del sole) e tutte le funzioni (attività muscolare, nutrizione, respirazione, circolazione, escrezione, secrezione, riproduzione, sviluppo ecc.) sono influenzate da essa. È accertato che ogni insetto ha una sua specifica temperatura minima di soglia in cui inizia lo sviluppo, e la differenza tra questo valore e la temperatura effettiva ne determina la rapidità; inoltre alcuni insetti sono caratterizzati da una soglia massima di temperatura sopra la quale lo sviluppo risulta sospeso (Servadei *et al.*, 1972; Masutti & Zangheri, 2001).

Ogni insetto, dunque, presenta un optimum di temperatura in cui le prestazioni metaboliche e fisiologiche si esplicano al meglio, ma allontanandosi da questi valori ottimali esiste la possibilità di un rallentamento dei tempi di crescita e di sviluppo e conseguentemente un aumento della lunghezza del ciclo biologico (Masutti & Zangheri, 2001). Ciascuno stadio dello sviluppo presenta una zona termica entro la quale l'organismo è attivo e una in cui è possibile la vita; il cosiddetto "punto critico" è la temperatura limite al di sotto della quale si può determinare l'inattività e addirittura l'arresto metabolico. In tal modo la temperatura può indurre un ritardo o addirittura rappresentare un impedimento ad una delle varie fasi dello sviluppo.

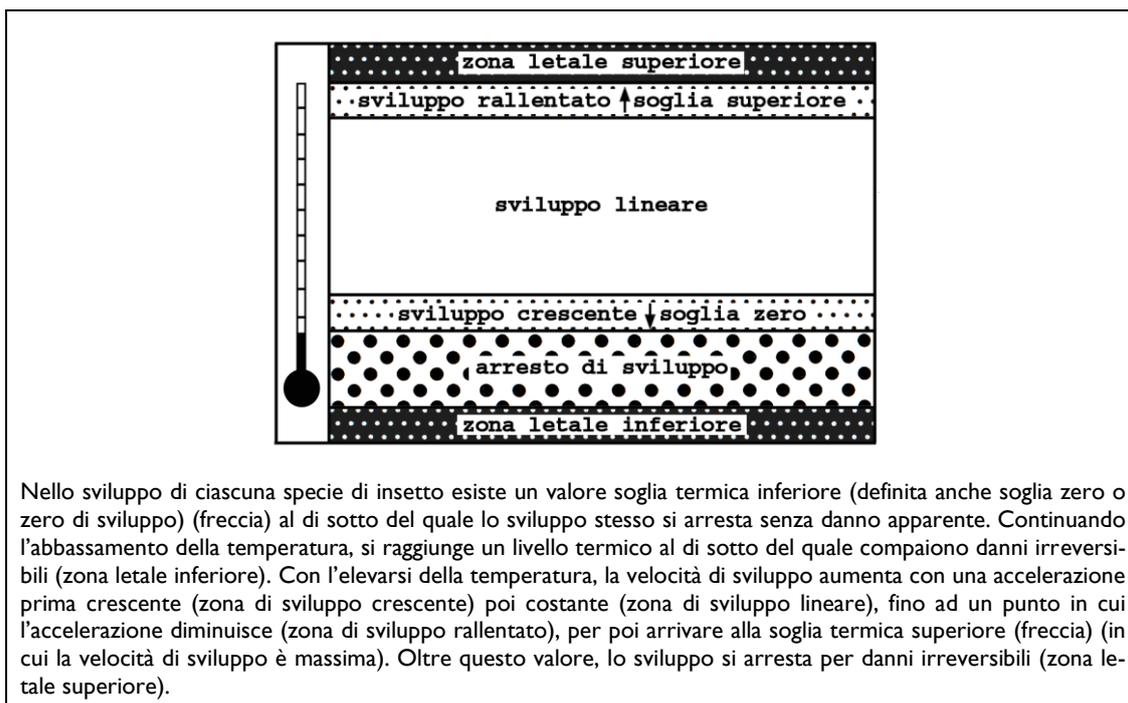


Fig. 3.3 - Schema dello sviluppo di un insetto in funzione della temperatura (modificato da Tremblay, 2003)

In figura 3.3 vengono rappresentate le varie soglie di sviluppo di un insetto. In generale la vitalità del corpo, lo sviluppo e la riproduzione sono più veloci alle alte temperature, più lente alle medie temperature fino ad annullarsi a quelle basse. Un esempio è rappresentato dai Coleotteri Anobidi che risentono delle variazioni termiche ambientali in grado di condizionare lo sviluppo, rallentandolo o accelerandolo: in linea di massima intorno ai 25 °C lo sviluppo è rapido, più lento tra i 15 °C e i 20 °C e quasi assente al di sotto di 10 °C. Di seguito, in forma sintetica e riassuntiva di quanto accennato, si riportano alcuni esempi dell'importanza che fattori ambientali, quali temperatura, umidità e radiazione luminosa, rivestono nella vita di alcuni infestanti.

Tra i Coleotteri Dermestidi, ad esempio, in *Dermestus maculatus* (De Geer), la vita dell'adulto si svolge in un arco di circa 6 settimane se la temperatura arriva intorno ai 21 °C, mentre per i Coleotteri Anobidi temperature favorevoli sia all'attacco dei materiali sia allo sviluppo, sono rappresentate da un minimo di 10 °C, trovando un optimum nell'intervallo tra i 22 °C e i 25 °C (Chiappini *et al.*, 2001). Per i Tisanuri Lepismatidi lo sviluppo di *Lepisma saccharina* è favorito da temperature comprese tra i 22 °C e i 32 °C, mentre *Thermobia domestica* depone le uova vicino a fonti di calore intorno a 32-41 °C, quindi a temperature elevate.

Anche l'umidità è un fattore importante e può essere ricavata oltre che dall'ambiente circostante anche dal contatto con le strutture murarie umide. I valori igrometrici influenzano direttamente la celerità dello sviluppo embrionale e postembrionale degli insetti, la loro attività riproduttiva, l'inizio dello sfarfallamento e l'induzione della diapausa. L'acqua è indispensabile per la sopravvivenza e la sua carenza è senza dubbio più pericolosa degli eccessi e quindi le necessità di approvvigionamento idrico sono di vitale importanza. 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. L'apporto idrico necessario può arrivare dall'alimentazione, anche se da substrati apparentemente disidratati, dal metabolismo o dall'ambiente, ma l'acqua può essere assunta anche dal substrato che ospita l'organismo (Chiappini *et al.*, 2001).

Come per la temperatura, anche per l'umidità esistono valori soglia minimi e massimi oltre i quali le condizioni diventano nocive o addirittura letali per gli organismi. Ad esempio lo sviluppo di *Lepisma saccharina* è favorito da una umidità ambientale superiore al 75% anche se vi sono esemplari che proseguono normalmente il loro sviluppo a valori minori. Invece il ciclo vitale degli Anobidi (e particolarmente lo sviluppo del secondo stadio larvale) è strettamente dipendente dal basso valore di umidità del materiale sul quale si nutrono; in questo caso l'optimum è compreso tra il 20% e il 22% di U.R.

L'umidità e la temperatura sono strettamente correlate e la loro associazione influenza in vario modo il metabolismo degli insetti: ad esempio una atmosfera fredda e umida determina un rapido raffreddamento dell'organismo e un abbassamento veloce del metabolismo, mentre una atmosfera fredda e secca porta invece ad un raffreddamento e ad un abbassamento metabolico più lento in quanto la perdita di calore è meno rapida (Grandi, 1984). A proposito dei valori di temperatura, Lepesme (1944) riporta le considerazioni di P. Wirth il quale ritiene che la I età di sviluppo per *Stegobium paniceum* richiede sette giorni, la II 10, la IV 14 e la V 20 e che a temperature più basse il ciclo si allunga e il numero delle mute aumenta. Sempre secondo Wirth (1934) *Stegobium* resiste abbastanza bene alle basse temperature rimanendo inattivo a 10-12 °C e morendo solo a -10 °C, mentre cade in uno stato di vita latente sopra i 35 °C e muore se esposto per almeno due ore a 43-44 °C; il suo *range* di attività è dunque limitato fra i 12 °C e i 35 °C. Le uova non si sviluppano sotto i 4 °C ma possono vivere per mesi anche fino a -5 °C. L'insetto inoltre possiede una spiccata resistenza alla siccità sopportando per molti giorni U.R. di soli 5-8%.

Come è stato evidenziato, al di sotto di una soglia critica di 40 °C, alte temperature ed elevati livelli di umidità relativa favoriscono lo sviluppo e la riproduzione di vari insetti, accelerando il loro ciclo vitale. Mentre temperature al di sopra dei 40 °C sono dannose per molti di essi, quelle basse hanno spesso un effetto meno incisivo soprattutto se raggiunte lentamente in quanto l'insetto può entrare in una forma cosiddetta di diapausa. Questo stato di quiescenza, come avviene del resto per le spore dei microrganismi (possono attraversare periodi più o meno lunghi di dormienza indotta da fattori ambientali quali insufficiente umidità, temperature troppo basse o troppo alte), può durare anche diversi anni consentendo di superare indenni avverse condizioni climatiche.

Altro fattore fisico da non trascurare è la luce e gli insetti sono sicuramente gli agenti biologici dannosi ai beni culturali più influenzati da questo fattore: vi sono infatti organismi attivi in pieno giorno, altri crepuscolari oppure notturni o assolutamente lucifughi, in quanto adattatisi a vivere temporaneamente, stabilmente o ciclicamente in ambienti assolutamente bui (Masutti & Zangheri, 2001). Anche la durata di esposizione giornaliera alla luce può avere una influenza rilevante, in quanto alcune funzioni fisiologiche, come la produzione di ormoni, sono legate ai rapporti relativi di periodi di luce e di buio. Nel caso degli insetti, il fotoperiodo in generale svolge un ruolo importante nella morfogenesi inibendo o determinando la secrezione dell'ormone che regola la muta e la metamorfosi nel corso dello sviluppo postembrionale: l'ecdisione (miscela di vari ecdisoni α e β , la cui struttura di base è quella del colesterolo), prodotto principalmente dalle ghiandole proteraciche. L'assenza di questo ormone determina l'arresto dell'accrescimento e della differenziazione; inoltre agisce nella deposizione delle uova, sulla diapausa, sui periodi di sfarfallamento, sull'attività locomotoria, sul consumo di ossigeno e in generale sull'etologia.

Per quanto riguarda l'influenza della luce, gli Isotteri generalmente la rifuggono, *Reticulitermes lucifugus* costruisce infatti apposite gallerie (Chiappini *et al.*, 2001).

Allo stesso modo i Lepismatidi sono lucifughi così come le blatte con abitudini crepuscolari o notturne (tanto che la blatta era nota agli antichi e chiamata “lucifuga”, proprio perché rifuggiva la luce). Tra i coleotteri invece, gli Anobidi e i Dermestidi sono fototropici, tranne *Stegobium*.

Queste brevi considerazioni confermano come i fattori climatici influenzino la biologia della fauna entomologica presente nei luoghi di conservazione e quindi un loro adeguato controllo è senza dubbio una delle azioni principali da intraprendere.

3.2.1.b Valori termoigrometrici per la conservazione dei materiali fotografici

Per l'archiviazione a lungo termine delle fotografie, da un punto di vista chimico-fisico, esistono precisi valori di riferimento emanati da organismi internazionali (norme ISO - International Organization for Standardization), a seconda delle tipologie di materiali (tab. 3.1), che devono essere rispettati. Tali normative forniscono definizioni e specifiche relative alla conservazione dei materiali fotografici tradizionali; attualmente sono in corso simili iniziative anche per i materiali digitali. Per una migliore comprensione, nel capitolo 8, sono presentate alcune note riassuntive ed esplicative delle varie tecniche fotografiche citate nella tabella sottostante e nei capitoli precedenti.

Tab. 3.1 - Temperature massime ed intervalli di umidità relativa per la conservazione dei materiali fotografici monocromi e a colori*

PROCESSI MONOCROMI		T °C max**	U.R. %***
Dagherrotipi, ambrotipi e ferrotipi		18	30-40
Stampe su carte ad immagine argentea¹		18	30-50
Lastre di vetro alla gelatina		18	30-40
Pellicole in poliestere²	Processi ad immagine argentea (vedi ISO 18901:2010)	21	20-50
	Procedimenti termici (vedi ISO 18919:1999)	15	20-40
	Procedimenti vescicolari (vedi ISO 18912:2002)	10	20-30
Pellicole in nitrato di cellulosa³		2	20-30
Pellicole in esteri di cellulosa (triacetato di cellulosa, acetato butirrato di cellulosa e acetato propionato di cellulosa) (vedi ISO 18901:2010)		7	20-30
		5	20-40
		2	20-50
PROCESSI A COLORI		T °C max	U.R. %
Stampe su carta	<i>Polaroid (diffusion transfer)</i> a sviluppo istantaneo		
	<i>Kodak Dye-Transfer (imbibition)</i> a imbibizione di coloranti	18	30-50
	Processi ai pigmenti (processo carburo, gomma bicromata)		
Stampe su carta a sviluppo cromogeno⁴		2	30-40
Pellicole cromogeniche in esteri di cellulosa (triacetato di cellulosa, acetato butirrato di cellulosa e acetato propionato di cellulosa) ⁵		-3	20-40
		-10	20-50
Cibachrome (silver dye bleach)⁶		21	20-50
Pellicole diazo in poliestere⁷ (vedi ISO 18905:2002)		2	20-30

* (ISO 18918:2000, ISO 18909:2006, ISO 18911:2010, ISO 18920:2011).

** Le variazioni di temperatura non devono eccedere ± 2 °C in un periodo di 24 h.

*** Le variazioni di umidità relativa non devono eccedere ± 5 % in un periodo di 24 h.

¹ Per stampe non argentiche al platino e palladio sono consigliate: T max di 18 °C e U.R. tra 40% e 50%.

² (ISO 18911:2010).

³ Per pellicole poco degradate vengono consigliati anche -10 °C e 50% di U.R., per pellicole molto degradate -16 °C e 50% di U.R. o -5 °C e 30% di U.R. (Adelstein, 2002).

⁴ (ISO 18909:2006).

⁵ (ISO 18911:2010).

⁶ (ISO 18911:2010).

⁷ (ISO 18911:2010).

Come è possibile constatare, per alcune tipologie di tecniche fotografiche sono prescritte temperature relativamente miti come 18 °C max (fotografie storiche montate in cornici o astucci, stampe, lastre di vetro e alcuni tipi di pellicole), altre necessitano invece di ambienti freddi e/o con valori di U.R. bassi (Reilly, 1993; Wilhelm, 1993). In generale è da tenere in considerazione che le fluttuazioni di temperatura possono determinare stress termici, causando fenomeni di dilatazione e contrazione e che luoghi troppo secchi possono comportare per alcuni manufatti fotografici deformazioni e infragilimenti (pellicole e carte, compresi i cartoni di montaggio), deformazioni delle pellicole in acetato di cellulosa e contrazioni della gelatina con possibili distacchi.

Per materiali quali i nitrati di cellulosa è importante che il locale di conservazione sia ben ventilato, con una umidità relativa non troppo alta e una temperatura bassa (anche sotto lo zero), sia per rallentare al massimo la cinetica di decomposizione sia per assorbire il calore generato da questa reazione. Si parla infatti di materiali molto critici (autocomburenti) che possono andare incontro a decomposizione per idrolisi (promossa da acidi o basi presenti nella pellicola); i prodotti gassosi generati, in particolare se non vengono prontamente allontanati, sono in grado di far procedere ulteriormente il deterioramento del nitrato nel corso di reazioni secondarie. Tutti i prodotti della decomposizione del nitrato di cellulosa sono aggressivi nei confronti degli altri materiali fotografici, sia cartacei, plastici o metallici, e anche nei confronti degli alogenuri d'argento dello strato immagine. Il processo di decomposizione del nitrato di cellulosa è autocatalitico, ovvero autoaccelerante e produce come accennato un'elevata quantità di calore. Per questo motivo le pellicole in nitrato di cellulosa devono essere alloggiare separatamente dagli altri materiali in contenitori idonei (Adelstein, 2002; Ploye, 2005). Inoltre si deve considerare che i prodotti della degradazione possono determinare nell'uomo irritazioni agli occhi, alle vie respiratorie, nausea, rash, vertigini ecc. (Geiger & Cox, 2012). Anche gli acetati di cellulosa affetti dalla sindrome dell'aceto (*vinegar syndrome*), meccanismo degradativo che conduce a comparsa di acidità, odore di aceto, restringimenti, infragilimenti, depositi cristallini, bolle, ammorbidimento della emulsione, sbiadimenti dei colori, se conservati a temperature e umidità relative basse (tra 4 °C e -4 °C e 30% di U.R.) hanno aspettative di vita - LE (*Life Expectancy*) più lunghe che si attestano intorno ai 1500 anni (Reilly *et al.*, 1991; Adelstein *et al.*, 1992, 1997; Reilly, 1993).

Nelle fotografie a colori il degrado, che si manifesta sotto varie forme (macchie, variazioni di densità, cambiamenti e viraggi di colore), è il risultato di complesse reazioni chimiche accelerate da valori alti di temperatura e umidità relativa e dalla luce ma che si evidenziano anche se il materiale è conservato al buio (Wilhelm & Brower, 1993; Reilly, 1998; Quintric, 2006; Allitta *et al.*, 2013). Ciò si verifica in maniera particolare per i materiali a sviluppo cromogeno che presentano una fragilità intrinseca dovuta all'instabilità dei coloranti dell'immagine. Comunque anche in questo caso è fondamentale una archiviazione alle basse temperature unitamente ad un controllo dell'umidità relativa, che deve mantenersi entro valori di sicurezza compresi tra 25% e 50%, associata ad una conservazione al buio come del resto per tutti i materiali fotografici.

A parte i singoli valori specifici per le diverse tipologie di tecniche fotografiche, è doveroso considerare che, per una conservazione ottimale, i vari materiali richiedono soluzioni diversificate e per questo è opportuno predisporre ambienti separati e dedicati; un alloggiamento dunque che tenga in considerazione le varie tipologie materiche. Una conservazione di tal genere, definita nell'uso corrente di tipo "segregata", deve essere assolutamente predisposta per i nitrati e per gli acetati. Ove non sia possibile allestire ambienti al freddo, è essenziale preparare almeno locali, ben ventilati, freschi e asciutti. Inoltre è necessario rimuovere i contenitori metallici che non permettono la fuoriuscita delle sostanze prodotte dalla degradazione e adottare contenitori idonei fo-

rati o in cartone, avendo cura eventualmente di sistemare al loro interno assorbitori specifici. Certamente in tali ambienti ove sono imposte le basse temperature, lo sviluppo degli insetti è più difficoltoso e le possibilità che si possano verificare delle infestazioni sono minori.

Spesso vengono messi in opera sofisticati sistemi di monitoraggio ambientale senza attuare le più semplici misure preventive come la pulizia dei locali conservativi e soprattutto di quelli limitrofi, ritenendo erroneamente che il problema sia esattamente circoscritto a quel determinato ambiente. Un altro errore ricorrente è quello di lasciare accatastati materiali o arredi non più in uso, impedendo in tal modo le normali operazioni di pulizia o le ispezioni che dovrebbero essere svolte per monitorare lo stato del locale adibito alla conservazione. A tale proposito, è fondamentale assicurarne uno stato igienico mediante la frequente rimozione dei depositi di polvere e di inquinanti, tra cui spore di microrganismi, uova e frammenti di insetti, insetti e acari allo stato vitale e insetti molto piccoli (come ad esempio gli Psocotteri, che riescono facilmente ad essere trasportati dalle correnti d'aria) al fine di impedire che possano tornare in circolo per azione degli impianti di ventilazione. Queste operazioni, spesso sottovalutate e trascurate a favore di programmi più complessi e onerosi, consentono non solo di "disturbare" il ciclo vitale degli insetti, ma rappresentano anche un momento importante di verifica dello stato dei materiali conservati, permettendo di individuare così l'insorgenza di deterioramenti in fase iniziale. Inoltre si deve considerare che polvere e detriti rappresentano una fonte trofica e di rifugio per alcuni infestanti e possono creare un microambiente tale da favorirne lo sviluppo e la presenza. Infine, i detriti organici possono agevolare la crescita di microfunghi, i quali a loro volta possono richiamare altri insetti che si nutrono di essi. La presenza quindi di questi ospiti occasionali, che spesso non induce una reale preoccupazione, deve essere invece attentamente valutata perché fonte di possibili future problematiche.

3.2.2 Predisposizione di alloggiamenti a norma

Si deve tener conto dell'alloggiamento dei materiali in arredi, contenitori e involucri a norma, in modo da consentire una protezione adeguata delle varie tipologie di fotografie. Gli arredi in legno, per la suscettibilità ad attacchi da parte di infestanti, per le proprietà ossidanti della lignina, per i trattamenti superficiali e gli impregnanti utilizzati in fase di manifattura, possono risultare dannosi ai vari componenti dei beni fotografici. Oltre al legno, sono da evitare i suoi derivati quali: il multistrato, il truciolato, il compensato e i pannelli di fibra ottenuti da scarti di lavorazioni e assemblati con adesivi e rivestimenti sintetici anche a base di formaldeide (classificata dalla International Agency for Research on Cancer – IARC – come cancerogeno per l'uomo e causa di irritazione per pelle, occhi, prime vie aeree e anche di mal di testa e sonnolenza) (Muzi *et al.*, 2004) e/o altre sostanze dannose ai materiali e agli operatori. 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 i locali prima di alloggiarvi i materiali da conservare. Importante nel caso di eventuali arredi lignei è il controllo dell'umidità di risalita nelle pareti e la creazione di comparti di aerazione al di sotto e nel retro dei manufatti.

Gli arredi consigliabili per conservare le fotografie sono quelli metallici le cui caratteristiche principali risiedono nella funzionalità e nella durata nel tempo: l'acciaio inossidabile, l'acciaio con finiture resistenti alla corrosione e l'alluminio anodizzato sono i materiali più idonei per la realizzazione di scaffalature e cassettiere (per acetati e nitrati sarebbe opportuno l'utilizzo di arredi aperti).

Naturalmente anche vernici, lacche e smalti devono essere durevoli e resistenti all'abrasione. L'inconveniente che questa tipologia di alloggiamenti può presentare è però dato dalla possibilità di formazione del fenomeno di condensa. Quindi per consentire una sufficiente ventilazione ed evitare umidità di risalita risulta fondamentale usare semplici accortezze, quali quelle di distanziare le scaffalature di almeno 25 cm dai muri perimetrali, il primo ripiano di circa 30 cm dal pavimento e l'ultimo di almeno 30 cm dal soffitto. Inoltre sarebbe opportuno utilizzare ripiani regolabili e, sempre per evitare il fenomeno della condensa, preventivamente forati. Scaffali chiusi nella parte superiore possono inoltre ridurre i depositi di polvere sui materiali conservati. Infine è importante rispettare le misure consigliate (altezza max 220 cm e profondità dei ripiani 35 cm) per facilitare le operazioni di prelievo, pulizia e ispezione.

Per quanto riguarda le scaffalature mobili di tipo *compactus*, molto utilizzate per problemi di spazio in numerose realtà archivistiche, è necessario tenere in considerazione che tale tipologia di arredo comporta un attento controllo delle condizioni di U.R. Studi recenti (Pinzari & Montanari, 2011) hanno dimostrato che negli ambienti non climatizzati, questi arredi si sono rivelati essi stessi causa di biodeterioramento: al loro interno, anche per l'assenza di ventilazione, si può creare infatti un microambiente caratterizzato da valori di U.R. più alti di quelli esterni e da presenza maggiore di acqua in prossimità del pavimento con conseguente sviluppo di microfunghi a carico dei materiali igroscopici. Per tale motivo è necessario assicurare la circolazione dell'aria e quindi sono consigliabili solo *compactus* aperti. Si possono scegliere scaffalature con montanti laterali in lamiera perforata e, per limitare gli effetti di un'eccessiva umidità, posizionare degli stabilizzatori passivi come i gel di silice: ARTSorb® (costituito da biossido di silicio al 90% con aggiunta di cloruro di litio) e PROSorb® (biossido di silicio al 97% e ossido di alluminio al 3% - assenza di cloruro di litio), i più utilizzati.

Per una archiviazione definitiva e sicura è fondamentale la collocazione in contenitori e involucri a norma (Matè & Residori 2002a, 2002b; Matè & Laudisa, 2006; NDCC, 2014). Per gli involucri in plastica i materiali consigliati sono: il poliestere - tereftalato di polietilene, stabile chimicamente, trasparente e leggermente elettrostatico, il polietilene flessibile e stabile chimicamente (meno trasparente e stabile rispetto al poliestere) e il polipropilene, rigido e stabile (più rigido e lucido del polietilene e con una carica elettrostatica inferiore al poliestere). La carta e i cartoni non a diretto contatto con le fotografie devono avere precisi requisiti tra cui soddisfare il PAT - Photographic Activity Test che esplora le interazioni tra le fotografie e i materiali per la loro conservazione (ISO/DIS 18916:2007). Ovviamente gli involucri in carta vanno considerati maggiormente a rischio, rispetto ai materiali plastici, per quanto riguarda la possibilità di un eventuale attacco di insetti.

3.2.3 Attività ispettive

Le attività ispettive, svolte a cadenza regolare da personale specializzato, consentono di individuare con tempestività qualsiasi segnale che possa rappresentare un problema presente o futuro per la corretta conservazione della documentazione. Si basano su controlli visivi finalizzati al riconoscimento di fenomeni macroscopici e su controlli empirici che richiedono specifiche conoscenze fondandosi su esperienza e pratica nel percepire anomalie e degradi. Gli esiti di queste attività dovrebbero essere registrate in schede appositamente redatte in modo da poter seguire i vari cambiamenti nel tempo (vedi fine paragrafo). Eventuali controlli strumentali con indagini diagnostiche mirate consentono di validare le varie attività di diagnosi finalizzate a conoscere, interpretare e valutare le condizioni di deterioramento dovuto a fattori intrinseci ed esterni.

In fase ispettiva possono essere evidenziate infestazioni che avrebbero potuto determinare danni importanti alla documentazione e il riconoscimento di alcuni segnali preliminari può consentire l'individuazione tempestiva di un attacco di natura entomologica. In effetti il riscontro della presenza di insetti vivi o l'accertamento dell'espletamento del danno sono evidenze tangibili di una infestazione in atto ma in loro assenza è importante comprendere tutte quelle tracce in grado di condurre l'esperto ad individuare le problematiche che si stanno presentando nell'ambiente preso in esame. Il ritrovamento di insetti morti o di loro frammenti, pur se importante, può essere associato ad una vecchia infestazione non rilevata in passato, come l'assenza di insetti vivi potrebbe essere invece il sintomo di una infestazione non ancora attiva o attiva a bassi livelli; per tale motivo è importante ripetere l'ispezione dopo un breve periodo allo scopo di verificare l'eventuale presenza di altre tracce.

Per intervenire correttamente, la prima azione da intraprendere è l'identificazione certa della specie (da effettuare soprattutto sugli adulti) facendo anche riferimento a opportune chiavi tassonomiche. Per Tisanuri, Blattoidei e Psocotteri oltre agli esemplari nei diversi stadi di sviluppo (giovani e adulti - di Tisanuri e Psocotteri, neanidi, ninfe e adulti - di Blattoidei) sono importanti anche le spoglie larvali e, per i Blattoidei, le caratteristiche ooteche (fig. 3.4).

Per quanto riguarda gli Isotteri, indizi di una loro infestazione sono rappresentati dal rinvenimento degli esemplari nei vari stadi, dalla presenza di escrementi solidi, dai tipici camminamenti terrosi (che possono essere addossati alle pareti umide, pendere dalle travature, fuoriuscire dalle controsoffittature, percorrere i battiscopa ecc.) e dal volo di alati sciamanti che invadono in massa gli ambienti nei mesi primaverili e si raccolgono verso fonti luminose (finestre, vetrine, pareti bianche). Infatti alcune termiti, dimorando nel suolo, necessitano di un ambiente umido e buio e la continua ricerca di cibo le porta a muoversi lungo o all'interno delle strutture, costruendo questi appositi camminamenti sulle superfici oppure sfruttando spazi già disponibili nell'ambiente colonizzato (canalizzazioni elettriche o idrauliche, anfratti nelle fondamenta, interstizi presenti nelle murature o nelle pavimentazioni ecc.). I camminamenti sui muri o sui soffitti vengono realizzati dalle termiti operaie che costruiscono i percorsi a perfetta tenuta di luce con un impasto di saliva, terriccio ed escrementi. Utilizzando tali percorsi, le termiti operaie trasportano il legno corroso trasmettendolo tramite rigurgito boccale (trofallassi) a tutti gli altri componenti della colonia. Da tenere presente che spesso questi camminamenti possono passare inosservati se localizzati in aree poco individuabili. Chiare manifestazioni osservabili (quando l'infestazione è in fase avanzata) sono le tipiche formazioni stalattitiche o stalagmitiche. Nelle immagini rappresentate in figura 3.5, 3.5a, 3.5b e 3.5c si possono osservare alcuni particolari di un locale di deposito caratterizzato dai tipici "camminamenti" termitici sul muro e sul pavimento e su scaffalature in legno. Una serie di tracce in altre zone del locale aveva consentito di individuare con una certa facilità questo punto.



Fig. 3.4 - Ooteca di *Blaptica dubia*

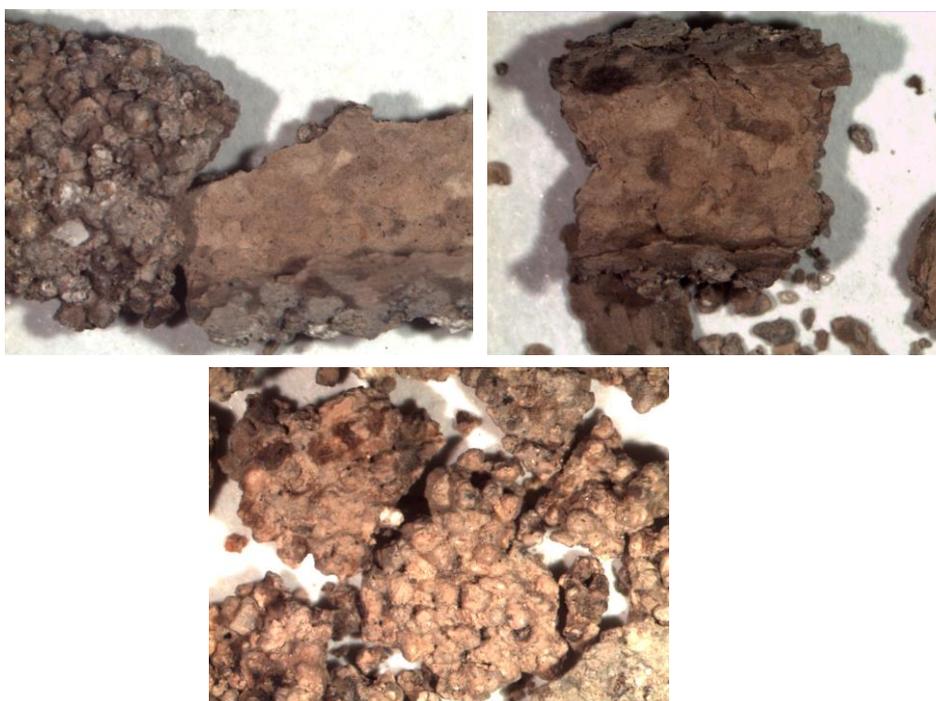
Il danno sui volumi e faldoni (internamente svuotati in seguito a questa infestazione) conservati in tale ambiente sono mostrati nelle figure del capitolo 1. Particolare attenzione va prestata agli ambienti di conservazione che presentano soffitti e solai con pannelli lignei o arredi di legno; in tali contesti è importante controllare se vi sono indizi di alterazioni, spesso conseguenti ad infiltrazioni di acque piovane o ad umidità di risalita, oppure a condensa. In presenza di tali situazioni è necessario tenere in considerazione la maggiore possibilità che si possa instaurare una infestazione. Nelle figure 3.6-3.11 sono mostrati altri particolari di resti da infestazione termitica reperiti in un locale conservativo.



Figg. 3.5, 3.5a, 3.5b, 3.5c - Caratteristici "camminamenti" termitici sul muro, sul pavimento e sulla scaffalatura di un locale di deposito archivistico



Figg. 3.6, 3.6a - Resti di camminamento termitico rinvenuti nel corso di una ispezione in un locale di deposito archivistico



Figg. 3.7, 3.7a, 3.7b - Ingrandimenti allo stereomicroscopio dei resti di camminamenti termitici ritrovati nel corso di una ispezione in un locale di deposito archivistico



Fig. 3.8 - Resti di termiti ritrovati nel corso di una ispezione in un locale di deposito archivistico



Fig. 3.9 - Ingrandimento allo stereomicroscopio dei resti di alati di termiti ritrovati nel corso di una ispezione in un locale di deposito archivistico



Fig. 3.10 - Ingrandimento allo Stereomicroscopio di adulto di isotertero



Fig. 3.11 - Ingrandimento allo stereomicroscopio di escrementi di *Reticulitermes* sp. dalla tipica forma a barilotto a sezione esagonale

Le infestazioni di insetti xilofagi possono durare anche alcuni anni e produrre effetti scarsamente visibili proprio a causa della loro modalità di azione, in quanto tendono a “lavorare” lontano dalla luce e dal rumore. Sono le larve a dirigersi all’interno delle strutture e a scavare, per nutrirsi, tortuose e profonde gallerie di sezione circolare dal percorso irregolare (nei successivi stadi vitali, pupa e adulto, l’insetto non si nutre). Le larve infatti non amano avvicinarsi all’esterno e rimangono in profondità non rivelando facilmente la loro presenza. Le profonde gallerie possono arrivare a decine di centimetri di lunghezza [come nel caso di *Anobium punctatum*, di *Stegobium paniceum*, di *Xestobium rufovillosum* e di *Lasioderma serricorne*; le gallerie dei Cerambicidi possono arrivare anche fino a 50 cm] e si aprono all’esterno con fori che presentano diametri variabili a seconda della specie, in funzione della larghezza raggiunta dal corpo della larva matura. Infatti mano a mano che la larva si accresce aumenta anche il diametro del lume interno della galleria. Gli adulti per fuoriuscire utilizzano talvolta lo stesso foro praticato da altri adulti, conseguentemente il numero di fori non è indicativo dell’entità complessiva dell’infestazione. Mentre le gallerie degli Anobidi vengono praticate in tutte le direzioni, quelle di altre specie quali *Lyctus linearis* (Goeze), seguono invece le fibre del legno (Liotta, 2001). Le larve che si accrescono all’interno dei materiali cartacei, scavando gallerie, producono danni ingenti al bene e in una infestazione per così dire “nascosta”, possono passare anche alcuni anni prima che il ciclo larvale finisca e l’adulto emerga (fig. 3.12).

È utile ricercare la presenza di individui morti o dei loro frammenti (larve, elitre, esuvie ecc.) in prossimità delle uscite delle gallerie, sui davanzali delle finestre o negli an-

fratti dove si accumulano polvere e detriti, soprattutto se si tratta di luoghi poco frequentati dagli operatori (figg. 3.13, 3.14 e 3.15).

Il dato visivo più allarmante è comunque quello associato alla presenza di fori e di rosime (frammenti costituiti da escrementi e polvere di rosura che fuoriescono dai fori prodotti sulle superfici dall'attività di scavo delle larve, degli adulti e dalle femmine per la deposizione delle uova) (figg. 3.16-3.22) nelle immediate vicinanze dei beni, che induce a ipotizzare la presenza di una infestazione in atto da parte di insetti xilofagi. Per quanto riguarda il rilevamento della presenza di fori si deve tenere in considerazione forma, dimensioni, distribuzione e diametro, tutti parametri potenzialmente identificativi ad un occhio esperto delle specie infestanti coinvolte.

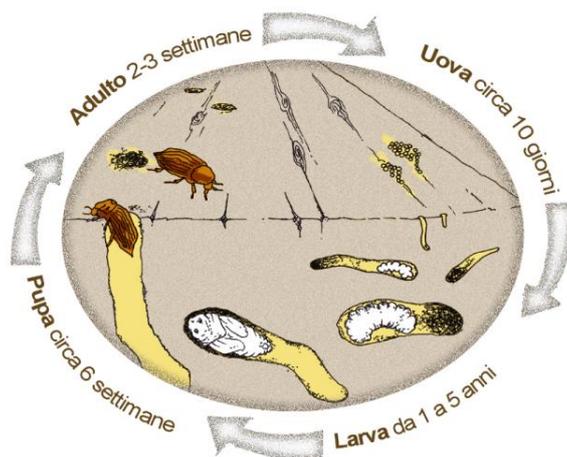


Fig. 3.12 - Ciclo di vita di *Anobium*
(modificato da Bravery et al., 1987)



Fig. 3.13 - Involucri pupali di anobidi



Fig. 3.14 - Involucri pupali di anobidi



Fig. 3.15 - Ingrandimento alla stereomicroscopia di involucro pupale di anobide



Fig. 3.16 - Frammento cartaceo e resto di anobide (*Stegobium paniceum*) ritrovati in un locale di deposito archivistico



Fig. 3.17 - Resti di Anobidi ritrovati nel corso di una ispezione in un locale di deposito archivistico



Fig. 3.18 - Rosume e resti di adulti di Anobidi ritrovati nello stesso locale di deposito archivistico



Fig. 3.19 - Adulto di *Stegobium paniceum* e rosime prodotto



Fig. 3.20 - Adulto di *Stegobium paniceum*, resti di altri esemplari e rosime



Fig. 3.21 - Adulto di *Gastrallus* sp., resti e rosime ritrovati in un locale di conservazione

Altri parametri da annotare sono l'andamento delle gallerie, le dimensioni dei granelli di rosime, la loro consistenza, tutti dati che come i precedenti aiutano ad identificare specie e genere dell'infestante. Le gallerie possono presentarsi piene di rosime oppure vuote: quest'ultima ad esempio è una caratteristica di molti Anobidi che tendono ad allontanare all'esterno tale materiale. Nel caso in cui l'insetto sia in grado di polverizzare il legno, il rosime diventa così fine che non è possibile riconoscere la struttura del legname e può risultare quindi soffice o compatto.

Quando l'insetto ingerisce il legno per nutrirsi, il rosime è formato invece da piccole palline di forma diversa tra cui è possibile visualizzare sotto ingrandimento i frammenti del legno. Ad una osservazione macroscopica esso appare come una polverina di consistenza granulosa e nel caso degli Anobidi, ad esempio, il colore del materiale tende a scurirsi con il trascorrere del tempo, permettendo così di stimare approssimativamente la data di sfarfallamento. Il rosime prodotto dall'adulto e dalla larva matura è formato da veri e propri pezzettini di legno, nella larva ad uno stadio precoce è frammito invece a deiezioni (fig. 3.22). Osservazioni sulle dimensioni delle gallerie, tipologia di eventuali fori presenti (di entrata o di sfarfallamento) e naturalmente l'analisi microscopica degli insetti, in qualunque stadio vitale, rappresentano gli strumenti fondamentali per consentire l'acquisizione delle informazioni indispensabili per l'identificazione di un attacco.

Nella tabella 3.2 vengono evidenziate, a titolo esemplificativo, le principali caratteristiche dei fori e del rosime prodotti dai Coleotteri Anobidi. Come si può notare i fori raggiungono al massimo il diametro di 3-4 mm: si tratta quindi di fori abbastanza piccoli, che non devono essere confusi ad esempio con quelli dei Coleotteri Cerambicidi che hanno invece sezioni decisamente maggiori (5-7 mm).

Tab. 3.2 - Caratteristiche principali del rosime e dei fori di sfarfallamento prodotto da alcuni Anobidi di interesse per il danno al patrimonio culturale in genere

SPECIE	DESCRIZIONE ROSIME	FORMA E DIMENSIONI FORI DI SFARFALLAMENTO
<i>Anobium punctatum</i>	granulare fine, fusiforme (a forma di limone)	circolare, 1-2 mm
<i>Ernobius mollis</i>	granulare di vario colore	circolare, 2-3 mm
<i>Oligomerus ptilinoides</i>	fusiforme	circolare, 3 mm circa
<i>Stegobium paniceum</i>	fusiforme e irregolare	circolare, 1-1,5 mm
<i>Xestobium rufovillosum</i>	grossolano a particelle lenticolari schiacciate	circolare leggermente ellissoidale, 2-4 mm
<i>Ptilinus pectinicornis</i>	farinoso molto fine e compatto, compresso nelle gallerie (da non confondersi con quello del <i>Lictus</i> che seppur finissimo è incoerente)	circolare, 1,2 mm circa

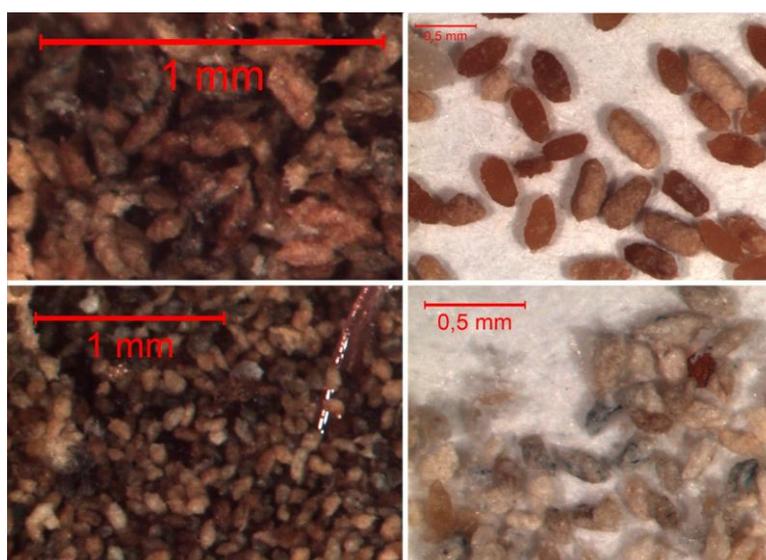


Fig. 3.22 - Rosime di *Stegobium paniceum*, di *Oligomerus ptilinoides*, di *Gastrallus* sp. e di *Anthrenus* sp.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei fori, molto spesso essi sono visibili solo quando l'opera distruttiva è già avvenuta, come ad esempio accade per quelli di uscita lasciati da *Anobium punctatum* dopo che si è verificato lo sfarfallamento (dopo cioè che è stata completata l'ultima metamorfosi ed è stato raggiunto lo stadio di adulto perfetto). Importante da verificare, durante le fasi ispettive, è se la fuoriuscita di rosime non sia un evento episodico deponendo così a favore di una semplice fuoriuscita di materiale accumulato all'interno delle gallerie e portato all'esterno da movimentazioni o vibrazioni, piuttosto che di una vera infestazione. Quindi per accertarsi se una infestazione sia effettivamente in atto o meno, non solo è opportuno verificare il contenuto delle trappole, ma anche ispezionare accuratamente il materiale conservato monitorando e segnalando l'eventuale presenza di nuovi fori, dopo aver preventivamente marcato o chiuso quelli vecchi e aver asportato il precedente rosime dall'interno; a completamento di questa fase ispettiva si suggerisce una precisa documentazione fotografica, fondamentale per poter monitorare in modo accurato le variazioni nel tempo. In generale si devono ispezionare tutte quelle aree che più frequentemente possono rappresentare un rifugio e verificare anche l'eventuale presenza di bozzoli o di involucri pupali, realizzati dagli insetti come strutture di protezione dove poter completare la metamorfosi.

Nell'ambito di un programma di monitoraggio accurato, possono risultare di notevole utilità strumentazioni per l'individuazione di alcuni organismi, come ad esempio i videoscopi muniti di fibra ottica, i rilevatori acustici che consentono di "ascoltare" l'azione trofica degli insetti (una sonda sensore collegata ad un ricevitore ha il compito di segnalare per mezzo di led luminosi il rumore prodotto dagli infestanti), nonché i termorelevamenti con telecamere a raggi infrarossi per individuare a distanza l'energia emessa dai materiali infestati. Una volta evidenziate le specie infestanti, solo la loro identificazione tassonomica a livello di specie può consentire di intervenire in modo mirato per debellarle e per applicare una corretta strategia integrata di prevenzione.

Schede di utilizzo in fase ispettiva

Di seguito vengono proposti due modelli di schede sintetiche, da compilare durante le varie fasi ispettive e di monitoraggio, nonché da utilizzare durante la raccolta di campioni per l'individuazione e il riconoscimento degli organismi catturati.

Scheda Fase Ispettiva. La raccolta dati, che si riferisce al locale da sottoporre al monitoraggio entomologico, è utile per tale attività diagnostica. La scheda sintetica è stata strutturata in modo da contenere le informazioni principali relative all'ambiente, alle sue caratteristiche strutturali e di finitura, alle tipologie di alloggiamenti, nonché ai vari impianti tecnici presenti e al loro stato conservativo. Vengono inoltre raccolte le informazioni relative ai sistemi e ai mezzi utilizzati per effettuare il sopralluogo. In tal modo è possibile realizzare una sorta di quadro della situazione di ciascun locale conservativo e delle modalità ispettive, utili per programmare interventi di manutenzione e per confrontare i risultati nelle successive ispezioni.

Scheda Monitoraggio/Campionamento Entomologico. In questa scheda vengono riportati tutti i dati che si riferiscono alle trappole utilizzate nel monitoraggio, alla loro ubicazione nell'ambiente e al numero di catture (e agli organismi catturati) in funzione del tempo. La modalità di raccolta degli esemplari intrappolati è una operazione importante, in quanto proprio dall'integrità degli organismi repertati dipende la validità dell'identificazione a meno che non si ricorra ad indagini più sofisticate quali le tecniche di analisi bio-molecolare.

SCHEDA FASE ISPETTIVA	
DATI IDENTIFICATIVI LOCALE	
DENOMINAZIONE	
UBICAZIONE¹	
FONDI/COLLEZIONI	
NOTE	
DESCRIZIONE LOCALE	
TIPOLOGIA DI STRUTTURA²	
SUPERFICIE	
ESPOSIZIONE (N, S, O, E)	
MATERIALI DI RIVESTIMENTO (pavimento, pareti, soffitto)	
CARATTERISTICHE INFRASTRUTTURALI³	
PORTE/FINESTRE/ACCESSI (esposizione, tipologia e materiali costitutivi, integrità, periodi di apertura ecc.) ⁴	
PRESENZA DI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO/ ILLUMINAZIONE/CLIMATIZZAZIONE/ DI DISPOSITIVI DI RILEVAMENTO PARAMETRI AMBIENTALI/ PER MONITORAGGI⁵	
ALLOGGIAMENTI (arredi, contenitori, involucri) ⁶	
STATO IGIENE AMBIENTALE⁷	
ACCESSIBILITÀ/ISPEZIONABILITÀ	
INTERVENTI DA EFFETTUARE⁸	
NOTE	
DESCRIZIONE FASE ISPETTIVA	
N° ISPEZIONE	
MATERIALI/STRUMENTAZIONI UTILIZZATE	
DATI ATTIVITÀ ISPETTIVA⁹	
NOTE	
IDENTIFICAZIONE SCHEDA	
N° SCHEDA	
RELAZIONI CON ALTRE SCHEDE¹⁰	
DOCUMENTAZIONE GRAFICA/ FOTOGRAFICA	
NOTE	
DATI COMPILAZIONE SCHEDA (data elaborazione, data ultimo aggiornamento, compilatore/i)	

¹ Indicazione del piano o livello del locale: interrato, seminterrato, pianterreno, piano intermedio, sottotetto, sottoscala, vano scala ecc.

² Vengono indicate le caratteristiche strutturali del locale (suddivisione, presenza di altri locali al suo interno ecc.), l'indicazione di condotti o aperture (trombe di scale, colonne di ascensori ecc.).

³ Viene indicata ad esempio la presenza di tubature a vista (dell'acqua, del gas ecc.) o di locali di acclimatazione ecc.

⁴ Specifiche sul tipo di finestre (apribili, presenza di persiane, sportelli ecc. e presenza di eventuali tendaggi/pellicole UV-IR ecc.) e porte (semplici, tagliafuoco, grigliate ecc.). Indicazioni sullo stato conservativo.

⁵ Sistemi di rilevamento dei valori di temperatura, umidità relativa, flusso d'aria, illuminamento ecc. e/o di dispositivi (trappole entomologiche, erogatori di esche tossiche per roditori ecc.) di monitoraggio.

⁶ Tipologia, caratteristiche costitutive e stato di conservazione.

⁷ Con indicazioni in merito alla frequenza/periodicità delle operazioni di igiene e dei prodotti utilizzati.

⁸ Vengono indicati gli interventi necessari dal punto di vista della conservazione in base al grado di urgenza.

Grado di urgenza 1 - danno rilevabile, di gravità più o meno elevata, ma non in progressione.

Grado di urgenza 2 - danno in progressione che non si ritiene possa nell'immediato causare la perdita del bene.

Grado di urgenza 3 - danno in rapida progressione che necessita di interventi immediati (per salvaguardare anche il materiale conservato nelle immediate vicinanze).

⁹ Indicazioni su data relativa all'ispezione effettuata e sulla composizione della struttura ispettiva.

¹⁰ Vengono riportati i riferimenti relativi ad altre schede esistenti (scheda ambientale, scheda conservativa, scheda restauro, scheda monitoraggio/campionamento entomologico ecc.).

SCHEDA MONITORAGGIO/CAMPIONAMENTO ENTOMOLOGICO			
DATI IDENTIFICATIVI LOCALE			
DENOMINAZIONE			
UBICAZIONE			
FONDI/COLLEZIONI			
NOTE			
DATI MONITORAGGIO			
TIPOLOGIA DI TRAPPOLE¹			
DATA INIZIO E FINE			
MONITORAGGIO			
NOTE			
N° identificativo trappola	Tipologia di trappola	Postazione trappola²	Materiale fotografico alloggiato³
N°/Data ispezione⁴	Identificazione esemplari/reperti⁵		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
DOCUMENTAZIONE			
GRAFICA/			
FOTOGRAFICA			
ESPERTO/I			
NOTE			
DATI CAMPIONAMENTO			
N° ESEMPLARI/REPERTI			
STADIO VITALE			
MODALITA DI RACCOLTA			
MODALITA DI			
CONSERVAZIONE/			
INVIO ESEMPLARI/REPERTI⁶			
DATI ATTIVITA DI			
CAMPIONAMENTO			
(data, esperto/i)			
NOTE			
IDENTIFICAZIONE SCHEDA			
N° SCHEDA			
RELAZIONI CON ALTRE SCHEDE			
NOTE			
DATI COMPILAZIONE SCHEDA			
(data elaborazione, data ultimo			
aggiornamento, compilatore/i)			

¹ Vengono indicate le differenti tipologie di trappole utilizzate.

² Viene indicata la postazione della trappola nell'ambito del locale conservativo (su arredi, sul pavimento, sui davanzali delle finestre, diversamente appese ecc.) anche con l'utilizzo di una piantina del locale.

³ Indicare le tipologie di fotografie conservate nelle immediate vicinanze della postazione della trappola.

⁴ Vengono indicate il n° di letture effettuate (che può essere naturalmente ampliato) e la data.

⁵ Si fa riferimento alle metodiche utilizzate per consentire verifiche di ordine tassonomico e morfologico.

⁶ Per la conservazione e l'invio del materiale biologico sarà necessaria la conservazione degli esemplari almeno fino al completamento della loro determinazione sistematica in laboratorio. Consigliabile l'utilizzo di provette con alcool (all'80% per le larve, al 70% per gli adulti), oppure l'utilizzo di contenitori con una miscela di 94-95 parti di alcool al 70% + 5-6 parti di acido acetico assoluto (per insetti o altri artropodi con esoscheletro fortemente chitinizzato). Apporre etichette identificative ad ogni contenitore con il riepilogo dei dati di rilievo e di un cartellino con la determinazione sistematica ed il nome del determinatore. In questa fase è opportuno l'utilizzo di specifici DPI (quali guanti monouso ed eventuali mascherine di protezione).

3.3 Organizzazione di un programma sostenibile

È prioritario riconoscere che non esistono soluzioni semplici (e univoche) al problema di ottenere la massima prevenzione per la contaminazione biotica negli archivi mantenendo allo stesso tempo un rischio minimo per operatori, utenti e per il materiale conservato. Una giusta combinazione di tecniche che si completano a vicenda in modo sinergico, è proprio dato dall'*Integrated Pest Management*, di cui si è accennato precedentemente. Programmi di questo tipo prevedono un accurato intervento territoriale, di fatto attuabile solo se subordinato ad una perfetta conoscenza della biologia dell'infestante e del contesto ambientale e microclimatico dell'area in cui si vuole intervenire.

Le biblioteche e gli archivi, dove sono collocati beni di notevole importanza storica, devono essere considerati alla stregua di una serra o di un campo coltivato che se lasciati senza sorveglianza, andrebbero sicuramente soggetti all'infestazione di specie fitofaghe in grado di compromettere in modo devastante il raccolto. Infatti, anche i beni alloggiati in un archivio o in una biblioteca rappresentano per molti insetti una risorsa di cibo che comprende non solo la cellulosa della carta, ma anche le colle e i materiali utilizzati per le rilegature, il cuoio o la pelle delle coperte dei libri, la gelatina o l'albumina di alcune stampe fotografiche ecc. Inoltre, tale tipo di ambiente può diventare l'habitat ideale per diversi organismi che trovano in esso non solo una fonte di cibo ma anche un perfetto territorio per riprodursi, con condizioni ambientali talmente stabili e favorevoli da provocarne facilmente un'esplosione demografica (Pinniger, 2012).

L'uso di sostanze chimiche per contenere il problema delle infestazioni negli archivi deve essere lasciata come una delle ultime alternative. L'impiego di insetticidi in uno spazio pubblico (come gli archivi o le biblioteche) è soggetto a severissime restrizioni, leggi e sanzioni, perché interagisce immancabilmente con la salute degli operatori e degli utenti. Gli effetti a breve o lungo termine possono essere anche molto gravi e, in alcuni casi, irreversibili: pertanto l'utilizzo di tali sostanze deve seguire uno scrupoloso disciplinare che ne stabilisca e controlli la tempistica e la modalità (Florian, 1997) (vedi capitolo 6). Un tipo di *management* con prerogative eco-sostenibili deve comprendere le azioni di seguito elencate:

1. realizzare un programma di ispezione e/o di sorveglianza mettendo a punto un sistema che allerti all'insorgenza di un qualsiasi problema;
2. determinare in modo tempestivo la natura e la dimensione del problema; ovvero, nel caso specifico di un organismo *pest*, la sua determinazione tassonomica e le dimensioni dell'infestazione;
3. implementare un programma di IPM che intervenga con la triplice azione di monitoraggio, controllo e/o eliminazione del problema;
4. seguire scrupolosamente le varie fasi del programma di IPM, verificando che i risultati siano conformi alle aspettative;
5. valutare il risultato finale e correggere strutturalmente e/o strategicamente le eventuali carenze del sistema.

La lotta integrata come sistema di controllo degli organismi *pest* si basa su una strategia preventiva, a lungo termine e con un basso impatto ambientale. Questo tipo di approccio ha permesso all'IPM di essere adottato in agricoltura, nei parchi, nel verde urbano, nella protezione delle derrate, nei musei, negli archivi e nelle biblioteche. Nel caso di archivi e biblioteche, come è ovvio immaginare, l'applicazione di tale strategia deve tenere in considerazione le condizioni del locale di conservazione, dell'ambiente esterno e delle possibili tipologie di danno ai materiali.

I punti focali che possono contribuire al successo di questo piano sono il riconoscimento delle priorità, la scelta delle azioni da intraprendere e delle procedure da applicare (tab. 3.3). Questi punti verranno ripresi e sviluppati nel capitolo 5.

Tab. 3.3 Elementi chiave e azioni da intraprendere per lo sviluppo di una strategia IPM

ELEMENTI CHIAVE DELLA STRATEGIA IPM	AZIONI DA INTRAPRENDERE
Evitare gli organismi pest	<p>Sviluppare procedure per il contenimento del loro ingresso. Eliminare le zone con habitat favorevoli alla vita e alla riproduzione degli organismi infestanti.</p> <p>1) Mantenere gli organismi fuori dagli edifici tramite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - griglie alle feritoie di ventilatori e aperture; - zanzariere alle finestre; - strisce di gomma a porte e finestre; - sigilli a porte e finestre. <p>2) Negare rifugi sicuri agli organismi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - evitare possibili fonti di nutrimento e materiali utili per nidificare; - garantire un regime di igiene sia dentro sia fuori l'edificio; - predisporre valori termoigrometrici idonei; - ispezionare le aree dell'edificio e dei locali poco frequentati; - predisporre una stanza di quarantena.
Identificare gli organismi pest	<p>Effettuare monitoraggi periodici per evidenziare i segni dell'eventuale presenza di specie dannose.</p> <p>Nel momento in cui venga predisposto un monitoraggio entomologico è importante:</p> <p>1) creare per ciascuna unità (locale, corridoio, alloggiamento ecc.) una mappatura che evidenzia i punti "deboli" (archivi strutture, porte, finestre, sbocchi di impianti idrici, di riscaldamento, di condizionamento ecc.), ovvero le possibili "porte di accesso" di un organismo infestante agli ambienti conservativi;</p> <p>2) sistemare i diversi tipi di trappola per il monitoraggio nelle aree prefissate, marcando e registrando accuratamente la loro posizione (in modo da poterle individuare facilmente e controllare velocemente);</p> <p>3) ispezionare le trappole ad intervalli periodici (generalmente ogni 15/30 giorni, più frequentemente per i volatori nel periodo primavera-estate), riportando accuratamente le catture per ogni trappola sulla Scheda di Monitoraggio predisposta;</p> <p>4) identificare e registrare gli organismi catturati (al livello tassonomico di famiglia) e il loro stadio di sviluppo;</p> <p>5) mantenere le trappole nella stessa posizione per un anno. Nell'eventualità è possibile aggiungere durante il periodo di monitoraggio ulteriori trappole, evitando di spostare questi dispositivi da una posizione ad un'altra o di rimuoverli da luoghi in cui non vengono registrate catture;</p> <p>6) identificare le specie più importanti (sia dal punto di vista demografico sia come impatto sulla collezione) nell'area monitorata.</p>
Valutare le problematiche	<p>Individuare i materiali ad alto rischio di deterioramento nelle collezioni fotografiche (ad esempio le fotografie con supporto cartaceo sono maggiormente esposte rispetto a quelle con supporto in materiale plastico - pellicole di vario tipo).</p> <p>Individuare le zone ad alto rischio negli edifici e nelle aree adibite a conservazione.</p> <p>Conoscere le caratteristiche morfo-biologiche degli infestanti (in particolar modo degli insetti) e il loro comportamento.</p>
Pianificare gli opportuni trattamenti di lotta	<p>Scelta dei trattamenti più adeguati:</p> <ul style="list-style-type: none"> - disinfestazione con atmosfere controllate/modificate o, qualora si sia in presenza anche di microrganismi, utilizzo di ossido di etilene o di raggi gamma a seconda dei materiali conservati; - disinfestazione con insetticidi applicati secondo un disciplinare IPM (<i>bait station</i>); - derattizzazione secondo un disciplinare IPM (<i>bait station</i>); - interventi di deumidificazione; - interventi di depolveratura e igiene ambientale; - predisposizione di monitoraggi con trappole e dispositivi idonei.
Rivedere le procedure IPM adottate	<p>Valutare periodicamente l'efficacia della strategia intrapresa ed eventualmente modificarla. Tali attività possono comportare frequenti aggiornamenti nella formazione del personale e raccolta di finanziamenti.</p>

L'applicazione di un tale approccio deve comunque essere valutata attentamente, in modo da considerare tutti gli aspetti (Pinniger, 2012). I possibili vantaggi e svantaggi sono di seguito riassunti (Parker, 1988).

Vantaggi della strategia di IPM:

- l'uso dei trattamenti chimici, nel momento in cui viene ridotto, porta conseguentemente ad una diminuzione del rischio di danno alla salute del personale;
- l'utilizzo dei trattamenti chimici, nel momento in cui viene ridotto, determina di conseguenza un abbassamento del rischio di deterioramento o danno estetico dei beni;
- l'impiego dei trattamenti chimici se ridotto, porta ad un calo dei costi di gestione per la salvaguardia dei beni;
- il miglioramento delle condizioni ambientali all'interno del locale conservativo, per realizzare il programma di IPM, porterà ad un miglioramento della struttura per un controllo a lungo termine degli infestanti;
- l'approccio IPM potrebbe rappresentare in alcune condizioni l'unica soluzione per risolvere in modo duraturo il problema degli organismi infestanti allorché l'approccio chimico non riesce a contenere il problema;
- la strategia IPM permette di avere un dato preciso delle caratteristiche qualitative e quantitative della popolazione, nonché di conoscere le aree più suscettibili all'attacco;
- l'IPM è la strategia di *pest management* più adottata dalle istituzioni (musei, archivi e biblioteche).

Svantaggi della strategia di IPM:

- richiede un maggior costo in termini di tempo e personale rispetto ad una strategia di tipo tradizionale;
- richiede un maggior coordinamento e riorganizzazione tra tutto il personale per poter essere gestita in modo sostenibile ed efficace;
- può avere dei costi inizialmente maggiori di una strategia di tipo tradizionale.

3.3.1 Check-list - modulo/questionario

Dal punto di vista pratico l'approccio IPM richiede di organizzare e pianificare oltre i monitoraggi ambientali anche quelli strutturali, sia per quanto riguarda la struttura esterna dell'edificio sia per quella interna (UCSF, 2011). È utile, dunque, predisporre e compilare delle liste - *Check-List*, che prevedano una serie di controlli e di azioni successive da intraprendere. Una *Check-List* dovrebbe essere organizzata considerando la sequenza delle azioni da svolgere e, pur non pretendendo di risultare esaustiva per ogni realtà (in quanto ambienti e spazi particolarmente ampi, complessi ed articolati, possono presentare problematiche non rilevabili sempre in modo agevole), può comunque aiutare nell'individuazione delle criticità a cui contrapporre concrete soluzioni tecniche. Per una dettagliata compilazione dunque di una lista di controllo, sarebbe opportuno il coinvolgimento delle varie figure professionali che, lavorando a diverso titolo nell'ambito della conservazione ciascuno per la sua competenza, faciliterebbero in tal modo il conseguimento di un obiettivo completo e multidisciplinare. Le analisi dei dati ricavati da questi moduli, unitamente a quelli della Scheda Fase Ispettiva e della Scheda Monitoraggio/Campionamento Entomologico, possono dare indicazioni sulle criticità relative ai beni custoditi, contribuendo a delineare gli interventi necessari per eliminare o ridurre al minimo i possibili danni.

Di seguito viene riportato un esempio di alcune considerazioni, riferite esclusivamente al problema delle infestazioni, che in una *Check-List* dovrebbero essere valutate da chi è preposto alla salvaguardia dei beni.

CHECK-LIST	
VALUTAZIONE DELLA STRUTTURA DELL'EDIFICIO	
A STRUTTURA ESTERNA	1 Si riscontra un'evidenza di danno, di detriti o di nidi indicatori di una potenziale presenza di organismi animali?
	2 Si riscontrano fessure, crepe e/o fori nella struttura esterna dell'edificio?
	3 Si riscontrano dall'esterno difetti nella chiusura e/o apertura di porte e/o finestre?
	4 Si evidenziano tracce di umidità sui muri esterni dell'edificio?
	5 Sono presenti risorse idriche naturali o artificiali vicino all'edificio?
	6 Sono posizionati raccoglitori di rifiuti (cassonetti) nei pressi dell'edificio o aree con rifiuti organici?
	7 Sono presenti nelle strette vicinanze dell'edificio piante oppure la struttura possiede superfici esterne a diretto contatto con piante rampicanti (ad es. edera, glicine, vite americana ecc.)?
B STRUTTURA INTERNA	1 Si riscontra un'evidenza di danno, di detriti o di nidi all'interno dell'edificio, nei locali di conservazioni o ambienti annessi, sugli alloggiamenti (scaffalature, armadi, contenitori) o tra i materiali stessi che indichino una possibile presenza di organismi animali?
	2 Si riscontrano fessure o aperture nelle pareti interne, nelle porte e/o finestre?
	3 Porte e finestre sono chiuse ermeticamente?
	4 Sono presenti tracce di umidità o di acqua in particolar modo nelle vicinanze di tubazioni, finestre o aperture, impianti di aria condizionata o di riscaldamento?
	5 Quali sono i valori di temperatura e umidità relativa nei locali di conservazione, di esposizione o in quelli adibiti a "quarantena"?
	6 Si riscontra la presenza di rifiuti organici in aree interne all'edificio non preposte allo scopo? Si evidenzia uno stato igienico non adeguato? Come viene organizzata la raccolta differenziata della carta?
	7 Sono presenti nelle strette vicinanze dell'ambiente conservativo piante, oppure la struttura possiede superfici esterne a diretto contatto con piante rampicanti (ad es. edera, glicine, vite americana ecc.) ?

Una volta raccolte tali informazioni, è possibile organizzare interventi mirati come ad esempio per quanto riguarda la struttura esterna:

1. Rimuovere tutti quei materiali indicatori di una presenza di organismi indesiderati.
2. Chiudere fessure, crepe e/o fori nelle pareti esterne dell'edificio.
3. Controllare la chiusura ermetica di porte e/o finestre ed eventualmente provvedere al fine di evitare l'ingresso di inquinanti atmosferici e di possibili organismi infestanti. Sistemare griglie di protezione.
4. Provvedere ad un risanamento ambientale.
5. Creare una pavimentazione drenante e isolata intorno all'edificio.
6. Eliminare aree di rifiuti organici nei dintorni dell'edificio. Garantire un regime di pulizia evitando materiali utili alla nidificazione.
7. Rimuovere la vegetazione e le fonti di umidità vicino all'edificio (erbe cresciute nelle vicinanze dei muri dell'edificio o piante alloggiate negli spazi interni possono ospitare insetti di vario tipo e attrarne altri).

Per quanto riguarda invece la struttura interna:

1. Rimuovere tutti quei materiali indicatori di una presenza di organismi indesiderati.
2. Chiudere fessure, crepe e/o fori nelle pareti interne.

3. Controllare la chiusura ermetica di porte e/o finestre. Installare sistemi di sicurezza per evitare l'accidentale apertura di porte di emergenza dall'esterno.
4. Predisporre un risanamento dei locali conservativi.
5. Provvedere ad un condizionamento passivo o attivo a temperature e umidità relative a valori idonei (con sistemi di monitoraggio in tempo reale) e stabili nel tempo dei vari locali in cui alloggia anche temporaneamente il materiale. Adibire una "stanza di quarantena" per il materiale "in ingresso" o che è stato anche accidentalmente esposto all'ambiente esterno (e quindi potenzialmente contaminato).
6. Provvedere frequentemente ad una accurata igiene dei locali e ad una depolveratura (soprattutto togliere la carta dai cestini in quanto polvere e carta possono attirare insetti). Rimuovere qualsiasi materiale all'interno dei locali in grado di assorbire umidità, di trattenere la polvere e i detriti organici (creando un habitat ideale per l'instaurarsi di una specie infestante).
7. Rimuovere tutte le piante, specialmente se in fiore (polline e nettare sono attrattivi per molti insetti).

La *Check-List* - lista di controllo, che può fa parte del processo di IPM, è da considerare il metodo più semplice e sicuro per portare a termine in modo corretto attività con tipologie di lavoro ripetute frequentemente nel tempo che richiedono particolare attenzione e precisione. Si tratta quindi di uno strumento per la corretta "verifica procedurale" del processo stesso. Ai fini della prevenzione sarebbe utile effettuare una previsione della probabilità e della gravità dei possibili danni che si potrebbero verificare in un contesto di pericolosità. In termini generali è possibile associare il pericolo con gli organismi *pest* presenti, mentre tutti gli altri fattori, correlabili alle caratteristiche dell'ambiente di conservazione (incluso anche gli aspetti organizzativi, gestionali ed economici), contribuiscono alla individuazione e alla valutazione delle criticità eventualmente riscontrate. Di conseguenza, un'attenta analisi degli elementi considerati potrebbe fornire indicazioni circa la concreta possibilità di espletamento del danno ed eventualmente anche il livello della sua gravità. È facilmente intuibile la connessione diretta tra problematiche rilevate e probabilità che il danno avvenga; in assenza di controlli è ovvio dunque presupporre un livello altissimo di accadimento. Purtroppo non è stato ancora sviluppato un modello *multihazard* che possa fissare un valore minimo di criticità. La difficoltà consiste nel fatto che nella realtà non esiste mai un'unica fonte di minaccia ma in generale più fattori concomitanti possono essere in grado di determinare condizioni correlabili a potenziali danni. Ad esempio per le tipologie di materiali fotografici, il loro stato di conservazione, gli organismi *pest*, i fattori ambientali, i monitoraggi, le condizioni igieniche dei locali ecc., sono tutti elementi che contribuiscono in maniera diversa alla determinazione del danno e alla sua gravità. La valutazione di questi elementi può consentire la elaborazione, per ciascun tipo di bene, delle idonee misure di prevenzione e protezione.

Infine per una corretta ottimizzazione di una gestione IPM, è importante decidere quante risorse economiche e quanto tempo possa esservi dedicato, se è possibile utilizzare personale interno (adeguatamente preparato per la realizzazione di tale programma) e attuare le eventuali modifiche strutturali considerando l'età e la modularità dell'edificio. Per quanto riguarda poi la preparazione degli addetti al settore, essi dovrebbero essere formati a riconoscere la pericolosità o meno degli infestanti in relazione alle varie tipologie dei beni conservati, individuando anche quali possano essere i difetti strutturali dell'edificio, e dove si trovino, per poter predisporre le azioni correttive necessarie in base alle priorità evidenziate.

Capitolo 4

Trattamenti disinfestanti contro gli artropodi

Marianna Adamo, Massimo Cristofaro

Le infestazioni entomologiche rappresentano un fenomeno assai diffuso soprattutto quando, negli ambienti di conservazione, non sono state attuate le opportune misure di prevenzione (Child, 1999; Geiger & Cox, 2012; Pinniger, 2012). Qualora ci si trovi alla presenza di un attacco di uno o più artropodi deteriogeni, è necessario prevedere un piano di disinfestazione e un successivo programma di risanamento ambientale al fine di ricollocare nuovamente il materiale trattato nei rispettivi locali conservativi risanati (Parker, 1988; Pinniger, 2012). Un intervento risolutivo presuppone l'adozione di misure idonee che preservino l'integrità del bene trattato e, la scelta del metodo da utilizzare, non può prescindere dalle seguenti valutazioni:

- entità e tipo di attacco biologico;
- valore storico del bene da trattare;
- urgenza dell'intervento;
- quantitativo da sottoporre a trattamento;
- costi economici del trattamento;
- sicurezza per operatori, fruitori del bene e per l'ambiente;
- assenza di effetti collaterali oltre quelli considerati accettabili;
- alternative disponibili.

La disinfestazione è un intervento di lotta svolto con tecniche e mezzi adeguati alle necessità; in passato il problema del biodeterioramento di natura entomologica è stato affrontato con il ricorso massiccio, a volte anche improprio, di prodotti di sintesi nocivi non solo agli insetti ma anche agli operatori e all'ambiente. Si citano ad esempio due dei più noti insetticidi ormai banditi a causa dei gravissimi danni causati: il DDT (diclorodifeniltricloroetano), ampiamente utilizzato negli anni 1940-50 contro svariati artropodi molesti e dannosi e il bromuro di metile, usato fino al 2005 in agricoltura per il controllo di agenti nocivi e di patogeni.

Di seguito vengono illustrati i trattamenti di maggiore interesse (basati su principi fisici e chimici) anche se ne esistono altri la cui applicazione risulta ancora molto limitata o in fase di sperimentazione come nel caso dei raggi infrarossi e degli ultrasuoni. Entrambe queste tecniche, che hanno trovato la prima applicazione nel campo agroalimentare, si basano sul riscaldamento indotto del materiale trattato che causa la morte del biodeteriogeno. In particolare, i raggi infrarossi provocano un veloce aumento della temperatura solo degli strati superficiali del prodotto da dove, in una fase successiva, il calore viene trasferito per conduzione agli strati più interni; per questo motivo tale trattamento, indicato solo per oggetti di dimensioni e spessore molto ridotti, è sconsigliato, invece, su materiali cattivi conduttori di calore. Per quanto riguarda gli ultrasuoni, la loro applicazione è strettamente legata al tipo di materiale da trattare che deve essere sufficientemente elastico da permettere la propagazione della vibrazione sonora, innescando le variazioni termiche nel mezzo colpito. Infatti, l'energia ceduta al materiale ne provoca il riscaldamento e il calore generato può determinare temperature letali per gli insetti infestanti. I risultati positivi ottenuti nel trattamento delle derrate alimentari ne fanno ipotizzare l'uso anche nel settore dei beni culturali. L'applicazione diffusa di tale metodo viene limitata oltre che dal grado di elasticità del

bene da trattare anche dalla possibilità di indurre alterazioni nei materiali cartacei a causa delle alte temperature raggiunte.

4.1 Metodi fisici

4.1.1 Controllo delle condizioni ambientali

Pur non potendo essere considerato un vero e proprio metodo di lotta, l'individuazione e la definizione dei parametri ambientali idonei per una corretta conservazione delle differenti tipologie di beni, costituisce la base di un corretto programma di controllo e contenimento dei processi di biodeterioramento (Pinniger, 2001). Infatti, gli ambienti di conservazione raramente risultano progettati allo scopo e le condizioni microclimatiche (umidità, temperatura, luce, flusso dell'aria) sono spesso influenzate da parametri esterni quali l'ubicazione dell'edificio nel territorio, la posizione geografica, l'orientamento, la presenza di aperture, la tipologia di arredi, tutti fattori che possono predisporre e favorire lo sviluppo dei biodeteriogeni (Pasquariello *et al.*, 2005).

Agire, quindi, sui parametri ambientali quali temperatura e umidità costituisce un valido aiuto nella gestione degli infestanti (vedi capitolo 3). Purtroppo la grande adattabilità che gli insetti e altri artropodi mostrano verso questi due parametri ne limita significativamente l'efficacia. La temperatura, negli ambienti di conservazione, dovrebbe rimanere costante giorno e notte con valori non più alti di 20 °C (Pinniger & Winsor 2004; Trematerra & Pinniger, 2014). Infatti, mentre le basse temperature non sono dannose, le alte non solo possono favorire i processi degenerativi dei materiali e accelerare il ciclo biologico degli insetti ma la loro fluttuazione nel tempo può indurre nei beni stress termici provocando danni di vario tipo. Per quanto riguarda l'umidità, le condizioni di estrema secchezza che si potrebbero avere con una U.R. <10%, certamente sfavorevoli alla sopravvivenza della maggior parte degli insetti, non potrebbero comunque essere compatibili con la corretta conservazione dei beni stessi. In un'ottica di prevenzione, importante potrebbe essere la dislocazione di rilevatori termoigrometrici che, messi nelle differenti zone dei locali di conservazione, potrebbero fornire in tempo reale precisi dati tecnici sulla variabilità della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria, evidenziando così le zone potenzialmente a rischio di danno biologico (U.R. >55%) (Pinniger, 2001).

È importante ricordare che molti danni sono determinati dall'effetto sinergico delle variazioni di umidità relativa e di temperatura, poiché qualsiasi bene entra in equilibrio con il microclima dell'ambiente circostante. La gestione del microclima non può disporre però di schemi standardizzati in quanto nel settore della conservazione è necessario considerare che spesso alcuni beni richiedono condizioni climatiche specifiche, in funzione delle diverse tipologie dei materiali costitutivi. Inoltre si deve considerare che tali beni vengono spesso ospitati in edifici storici che a loro volta necessitano di particolari esigenze microclimatiche. Tra le ultime normative di riferimento la UNI EN 15757:2010 (versione ufficiale della norma europea EN 15757:2010 "Conservation of Cultural Property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials", che tiene conto delle correzioni introdotte l'8 settembre 2010) fornisce alcune specifiche riguardanti la temperatura e l'umidità relativa al fine di limitare i danni fisici che il clima può determinare ai materiali organici igroscopici conservati per lungo tempo in ambienti *indoor* (vedi capitolo 3). Altra norma riguardante gli ambienti di conservazione è la UNI 10829:1999, sempre citata nel capitolo 3, che stabilisce linee guida per monitorare i parametri microclimatici ai fini della conservazione dando anche indicazioni sulle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati.

4.1.2 Trattamenti con le basse e le alte temperature

4.1.2.a Il congelamento

Tale procedimento non viene considerato un vero e proprio metodo di lotta ma solo una fase che può precedere un trattamento con altri sistemi. Utilizzato soprattutto in caso di calamità naturali (alluvioni, allagamenti ecc.) ha principalmente lo scopo di bloccare lo sviluppo di tutte le forme di vita ma, conseguentemente alla trasformazione dell'acqua in ghiaccio, induce alterazioni fisiologiche nei tessuti biologici che risultano letali per microrganismi e insetti. Lo stoccaggio dei documenti così trattati permette di organizzare con calma il processo di recupero consentendo la scelta più idonea di luoghi, tempi e soprattutto dei processi di risanamento.

L'effetto disinfestante è dovuto alla disidratazione istantanea dell'insetto a causa del congelamento immediato della sua acqua fisiologica; inoltre la rimozione dell'acqua intercellulare richiama acqua dalle cellule stesse (secondo gradienti di diffusione) e tale perdita comporta modifiche nella concentrazione dei soluti e del pH, denaturazione delle proteine nonché alterazione delle funzioni enzimatiche. Tutti gli insetti risultano vulnerabili anche se la temperatura di congelamento varia secondo la specie e lo stadio di sviluppo. Si possono utilizzare congelatori di tipo domestico per temperature regolate a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, oppure congelatori industriali se si vuole disporre di strutture con una maggiore capacità e in grado di raggiungere temperature più basse e in minor tempo. In generale, per un trattamento disinfestante si utilizza un range variabile dai $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ai $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ con tempi che possono cambiare rispettivamente da tre a sette giorni; in genere si tende a consigliare un trattamento a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ per tre giorni (Florian, 1997).

Pinniger (2011) consiglia, di esporre i beni a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ per tre giorni, a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ per sette giorni oppure a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ per almeno quattordici giorni. Il successo del processo non è legato solo alle temperature e ai tempi utilizzati ma anche alle modalità del congelamento che deve avvenire nel minor tempo possibile: più il processo è rapido, più le dimensioni dei cristalli di ghiaccio sono piccole e quindi minori saranno i danni meccanici accidentalmente provocati alla struttura dell'oggetto. Inoltre, prima di effettuare il trattamento, è importante prevenire l'esposizione del materiale infestato a temperature considerevolmente più basse rispetto all'ambiente da cui provengono. Tale operazione potrebbe favorire, negli insetti predisposti, l'attivazione di una strategia di sopravvivenza che, mediante processi biochimici e fisiologici, aumenta la loro capacità di resistere alle basse temperature (*freezing avoidance*).

Nell'impossibilità di effettuare subito il trattamento, il materiale infestato può essere mantenuto temporaneamente in frigorifero ma, prima di collocarlo nel congelatore, si consiglia di riportarlo a temperatura ambiente. In caso di incertezza circa l'efficacia del trattamento per precauzione è possibile o allungare i tempi del congelamento, oppure ripetere il ciclo congelamento/scongelamento (cioè portare i beni a temperatura ambiente e successivamente rimetterli nel freezer e ripetere il trattamento). Risulta pertanto fondamentale effettuare il controllo e il monitoraggio della temperatura attraverso rilevatori che devono essere posizionati al centro del bene così da verificare che il freddo abbia raggiunto anche le parti più interne, soprattutto se esso è di grandi dimensioni o di alta densità.

Nel caso delle fotografie prima del trattamento bisogna isolare i materiali e, dopo averli interfogliati con carta siliconata per evitare adesioni durante le fasi successive, collocarli in buste di polietilene sigillate. Al fine di evitare fenomeni di condensa o di cambi dimensionali (legati al rigonfiamento e restringimento) dovuti alla diminuzione della temperatura, è necessario poi rimuovere dalla confezione l'aria in eccesso e, in caso di grandi involucri, utilizzare degli adsorbitori (*silica gel*).

Gli imballaggi devono essere rimossi a fine scongelamento, effettuato a temperatura ambiente, non prima che siano trascorse alcune ore necessarie a ristabilire l'equilibrio idrico (Pinniger, 2003). Il lento scongelamento, provocando la formazione di grossi cristalli nelle cellule, causa ulteriori danni irreversibili agli organismi infestanti e garantisce così una migliore riuscita del trattamento (Marrelli, 1996).

Questa metodologia si applica a supporti cartacei (anche con sottile applicazione di colori), stampe fotografiche, negativi e positivi su pellicola, libri con piatti in cartone, assi lignee, coperte in cuoio o in pergamena; per quanto riguarda le lastre di vetro alla gelatina, invece, il trattamento può essere utilizzato una sola volta. Diversamente essa risulta inappropriata per beni con spesse applicazioni di colori (ad esempio *gouache*, pitture ad olio o acriliche in quanto vetrificano a temperatura di $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ecc.), per opere verniciate (come mappe o altro materiale rivestito), fotografie con montaggi (come dagherrotipi, ambrotipi e tintotipi) ed infine per lastre di vetro al collodio umido (Lavédrine, 2003; CCAHA, 2014; Trematerra & Pinniger, 2014).

Il congelamento è sconsigliato, inoltre, per oggetti fragili, instabili o sotto stress e per materiali compositi ad alto contenuto di acqua perché possono presentare, a fine trattamento, rotture o esfoliazioni a causa delle repentine variazioni di temperatura e di umidità relativa. Infatti l'equilibrio con l'ambiente circostante non deve superare il 50-60% di U.R., diversamente, l'eccesso di acqua presente nei substrati causerà la formazione di cristalli di ghiaccio che possono compromettere le proprietà meccaniche della carta; inoltre l'aumento della porosità e dello spessore può rappresentare un grave problema soprattutto per i volumi rilegati (Florian, 2002). Analogamente, i dipinti su legno con poco legante e gli oggetti contenenti cera possono risultare danneggiati da questo trattamento, così come l'avorio e il vetro che diventano più fragili a causa delle variazioni dimensionali. Il congelamento è sconsigliato anche per materiali non adsorbenti, in quanto non essendo in grado di adsorbire l'eccesso di vapore acqueo, questo condenserà o congelerà sulla superficie del bene. Tuttavia è importante sottolineare che, se le procedure di esecuzione del processo non vengono eseguite scrupolosamente, anche i materiali che abitualmente sopportano il congelamento possono risultare danneggiati a fine trattamento. La fase conclusiva del congelamento prevede l'asciugatura dei beni che richiede, a sua volta, specifiche conoscenze dei materiali costitutivi al fine di evitare possibili effetti indesiderati.

È opportuno accennare brevemente al metodo del *vacuum freeze-drying* o per prevenire gli effetti negativi del trattamento a basse temperature, i beni congelati vengono asciugati mediante sublimazione, fenomeno per cui l'acqua passa direttamente dallo stato solido a quello di vapore. Dopo la fase di congelamento a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ il materiale viene posto in una camera mantenuta alla medesima temperatura ma in situazione di sottovuoto con una pressione massima di 6 mbar (al di sotto di questo valore non vi è possibilità di ottenere acqua allo stato liquido) e associata ad una fonte di calore per favorire la sublimazione.

Tale metodo, oltre a richiedere tecnologie molto spesso non disponibili negli ambienti di conservazione, potrebbe risultare controindicato soprattutto per i beni cartacei, la pergamena, il cuoio e per alcuni adesivi. Infatti la sublimazione, agendo dall'esterno verso l'interno, asciuga molto di più gli strati superficiali dei materiali sottraendo oltre l'acqua libera anche quella legata; questa perdita comporta la diminuzione della flessibilità del bene che diventa così più fragile (Florian, 1997). Per tale motivo, a fine trattamento, è consigliabile eseguire una umidificazione. Questo tipo di asciugatura può agire negativamente sull'estetica delle stampe alla gelatina ai sali d'argento e di molti altri materiali fotografici, la cui superficie a fine trattamento potrebbe presentare un aspetto screziato (CCAHA, 2014).

Altro limite della tecnologia è rappresentato dalle dimensioni degli oggetti che talvolta richiedono impianti di congelamento specifici. Inoltre ripetuti cicli di congelamento e scongelamento possono provocare la formazione di cretture profonde nei materiali più fragili (Flieder & Capderou, 1999).

4.1.2.b Le microonde

Sono radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, poco penetranti, con lunghezza d'onda che si colloca tra le radiofrequenze e le frequenze più elevate degli infrarossi. Le microonde hanno il potere di riscaldare i materiali polari, come ad esempio l'acqua e la presenza di umidità è fondamentale per la riuscita del trattamento. Il calore, generato dalle rapidissime vibrazioni molecolari attivate dall'energia ceduta dalle microonde al materiale, determina un considerevole aumento della temperatura incompatibile con la sopravvivenza degli artropodi, il cui corpo contiene grandi quantità d'acqua.

Questo tipo di radiazioni è efficace contro gli insetti ma solo parzialmente nei confronti dei microrganismi. Le microonde presentano una distribuzione disomogenea della temperatura in quanto il calore raggiunto all'interno degli oggetti è strettamente correlato a variabili quali massa, densità, forma del bene, suo contenuto in acqua nonché alle caratteristiche termiche e dielettriche del materiale. Il riscaldamento disomogeneo può compromettere l'efficacia del trattamento disinfestante per cui è consigliabile monitorare in continuo la temperatura mediante l'uso di termometri con sonde a fibre ottiche, per assicurare valori letali anche nelle zone più fredde e contestualmente verificare che nelle zone più calde non si raggiungano temperature troppo alte dannose alla carta. Per il materiale cartaceo non è stato ancora possibile stabilire una relazione tra tempo di esposizione-spessore-temperatura (Arruzzolo *et al.*, 2005a, 2005b).

L'elevato aumento della temperatura, che si registra in presenza di una significativa percentuale di acqua nel materiale, può avere ripercussioni negative sui substrati per cui si sconsiglia l'uso di questo metodo per cuoio, pergamena e materiali fotografici (Montanari, 2007; C.I.A.R.T., 2014). Diversamente può essere applicato sulla maggior parte dei libri di alta qualità stampati dopo la metà del Novecento (Trematerra & Piniger, 2014). Le microonde, inoltre, possono risultare pericolose in presenza di componenti metallici (ad esempio cornici, fermagli ecc.) per il manifestarsi del fenomeno noto come *arc ing*, a causa del quale gli elementi si riscaldano a tal punto che, se particolarmente sottili, possono provocare combustione o sviluppare scintille (Chiappini *et al.*, 2001). Gli oggetti di piccole dimensioni sono di norma trattati direttamente in forni a microonde, mentre quelli più voluminosi vengono posti in apposite camere schermate. Al momento tale tecnologia non può comunque essere ancora presa in considerazione per effettuare trattamenti di massa.

4.1.2.c Le radiofrequenze

Le radiofrequenze, considerate un metodo minore, sono radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti di debole energia il cui potere sterilizzante è legato alla produzione di elevate temperature come nel caso delle microonde. Purtroppo la geometria e le caratteristiche chimico-fisiche del bene (viscosità, umidità, natura chimica) influenzano notevolmente la distribuzione di queste radiazioni (Osualdini *et al.*, 2007), quindi del calore, nei materiali limitandone le applicazioni. Le alte temperature raggiunte durante il trattamento ne impediscono l'uso per trattare materiale fotografico e cartaceo in generale, sebbene non siano noti fenomeni di degradazione della cellulosa (Montanari, 2007).

4.1.2.d Il calore

Il calore uccide gli insetti più rapidamente del congelamento. Tale metodo non è applicabile a materiali fragili e a quelli cartacei in genere perché a fine trattamento possono presentare deformazioni e imbrunimenti; prima dell'applicazione è opportuno quindi valutare la reale compatibilità con il bene da trattare. Altro limite della metodologia è costituito dalle dimensioni dei prodotti da sottoporre a trattamento.

Per realizzare un intervento è necessario avvolgere l'oggetto in carta non acida e, dopo averlo inserito in un involucro di polietilene, togliere l'aria e sigillare per evitare perdita di umidità. Il bene così confezionato deve essere posizionato in forno e mantenuto ad una temperatura compresa tra 54 °C e 60 °C per un lasso di tempo che può variare da poche ore se il campione è di piccole dimensioni e di bassa densità, fino a 24 ore, invece, se il bene è voluminoso e di alta densità. A fine trattamento, il materiale, una volta tolto dal forno, deve essere lasciato raffreddare a temperatura ambiente. Secondo Pinniger (2011), i manufatti più resistenti possono essere trattati senza confezione in una camera speciale con umidità controllata ad una temperatura di 52 °C per 60 minuti, utilizzando il processo *Thermo Lignum* che, pur essendo stato ideato per il trattamento del legno, funziona molto bene anche con alcune tipologie di beni cartacei (Mossi, 2013).

Il *Thermo Lignum* consta di tre fasi: nella prima, detta di riscaldamento, la temperatura interna alla camera viene progressivamente e lentamente innalzata fino a 50-52 °C e contemporaneamente viene incrementata anche l'U.R. in modo da mantenere costante il contenuto d'acqua dell'oggetto interessato al trattamento; nella seconda fase, di disinfestazione, i valori termoigrometrici vengono mantenuti costanti per un'ora e infine nell'ultima fase, definita di raffreddamento, le condizioni ambientali interne alla camera vengono riportate ai valori iniziali mediante il progressivo e lento abbassamento della temperatura e contemporanea riduzione dell'umidità relativa (durata complessiva del ciclo 18-20 ore) (CDE, 2010; Trematerra & Pinniger, 2014).

Un cenno viene fatto anche alla disinfestazione cosiddetta "aerotermica" che utilizza il calore per debellare ogni fase biologica degli Anobidi (uova, larve, pupe e adulti). La tecnica si basa sulla capacità del legno di trattenere e accumulare il calore all'interno: gli oggetti da trattare vengono avvolti in "coperte termiche" allo scopo di creare una camera mobile coibentata in cui viene insufflata aria calda, alternata a fasi di raffreddamento. La temperatura interna dell'oggetto, per essere letale, deve raggiungere in maniera uniforme i 57 °C mentre all'esterno non deve superare i 62 °C per evitare stress termici. Sensori ottici e all'infrarosso controllano la stabilità dei parametri interni ed esterni compresa l'umidità relativa la cui perdita viene costantemente compensata. Tuttavia, tale metodo, specifico solo per il trattamento contro gli Anobidi, a causa delle alte temperature raggiunte non può però essere applicato a superfici dipinte, a beni archivistici e librari ma solamente a manufatti lignei inamovibili (Artecontrol, 2014).

4.1.3 Le atmosfere controllate e modificate

Il metodo delle atmosfere controllate o modificate consiste nel variare i normali rapporti tra i gas generalmente presenti nell'aria, originando condizioni incompatibili con la vita degli organismi aerobi.

Di solito l'atmosfera si dice controllata quando la concentrazione di azoto (N₂) aumenta oltre il 99% e quella dell'ossigeno (O₂) scende al di sotto dell'1%, mentre l'atmosfera modificata presenta livelli di anidride carbonica (CO₂) superiori al 60%. Si può utilizza-

re anche una atmosfera con alte concentrazioni di azoto e anidride carbonica, ma con basso livello di ossigeno.

È possibile generare quindi negli insetti condizioni di anossia mediante la riduzione della concentrazione di ossigeno o di ipercarbia grazie all'aumento di anidride carbonica. Entrambe le situazioni, pur agendo in modo diverso, riducono la fosforilazione ossidativa provocando la morte dell'organismo: l'ipossia limita la disponibilità di ossigeno quale accettore finale degli elettroni nel ciclo di Krebs, mentre l'ipercarbia inibisce gli enzimi coinvolti nel ciclo stesso (Chiappini *et al.*, 2009). In termini generali, in condizioni di scarsità di ossigeno, a determinare la morte degli insetti non è il soffocamento ma la perdita di acqua attraverso gli spiracoli tracheali. Normalmente queste aperture tegumentali (attraverso le quali gli insetti respirano) situate lungo il torace e l'addome appaiono poco dilatate per consentire l'ingresso dell'ossigeno ed evitare la perdita di vapore acqueo ma, quando l'ossigeno è reso minimo nell'aria esse vengono aperte al massimo per aumentare la respirazione; si determina così la perdita di acqua corporea per evaporazione con conseguente morte dell'insetto per disidratazione (Selwitz & Maekawa, 1998). La sottrazione di acqua non può essere controbilanciata dall'umidità esterna in quanto l'epicuticola che ricopre gli spiracoli è cerosa ed essendo pertanto impermeabile ne impedisce l'ingresso.

Le atmosfere controllate o modificate sono in grado di eradicare qualsiasi specie di insetto, o altro artropode, e ogni suo stadio vitale (uova, larva, pupa, adulto) mentre risultano praticamente inefficaci nei confronti dei microrganismi. Infatti questi ultimi possiedono notevoli capacità adattative sia per fronteggiare la carenza di ossigeno sia l'aumento della concentrazione di azoto; l'atmosfera modificata in caso di contaminazione microbica può essere utilizzata unicamente per rallentarne l'attività biologica esplicando un effetto prevalentemente fungistatico e/o batteriostatico. Ne consegue quindi che i microfunghi, così come i batteri sporigeni, dopo un periodo di quiescenza saranno in grado di germinare nuovamente non appena verranno a ritrovarsi in condizioni ambientali idonee (Matè *et al.*, 2004; Berti *et al.*, 2005; Capizzi & Zanelli, 2008).

La concentrazione dell'ossigeno può essere ridotta allo 0,1-0,2% mediante:

- utilizzo di captatori di ossigeno per oggetti di piccole dimensioni (trattamento statico);
- sostituzione dell'ossigeno con anidride carbonica o con gas inerti quali azoto, argon o elio (trattamento dinamico). In genere per interventi su beni di grandi dimensioni si preferisce usare l'anidride carbonica mentre per quelli di piccole dimensioni si ricorre all'azoto o all'argon, che funzionano altrettanto bene anche se sono più costosi dell'anidride carbonica;
- uso di captatori e gas inerti per il trattamento di oggetti di grandi dimensioni (trattamento misto).

Trattamento statico. I captatori di ossigeno vengono utilizzati principalmente per il trattamento di oggetti di piccole dimensioni. Tra quelli più usati ricordiamo l'Ageless® prodotto in Giappone, l'Atco® di produzione francese e il FreshPax® americano. Di ognuno sono disponibili vari tipi e la scelta viene fatta in funzione del grado di permeabilità delle pellicole utilizzate per il confezionamento e della quantità di ossigeno da assorbire (Hatchfield, 2002).

L'Ageless® è generalmente il più utilizzato perché estremamente efficace nel rimuovere l'ossigeno dall'ambiente. Consiste in sacchetti contenenti, in una membrana permeabile ai gas e al vapor d'acqua, sali ferrosi che, per reazione con l'ossigeno atmosferico e l'umidità, si trasformano in ossidi ferrici. I captatori di ossigeno, imballati insieme al bene da trattare con materiale plastico e impermeabile all'ossigeno stesso, sottraggono quest'ultimo tramite fenomeni di ossidazione.

Tale reazione è esotermica e per limitare la produzione di calore, è opportuno creare il vuoto nei captatori che non vanno mai posti a diretto contatto con il bene. Poiché l'incremento di temperatura potrebbe determinare un aumento di umidità relativa, è consigliabile inserire insieme agli assorbitori anche prodotti tampone o carta da filtro (Hatchfield, 2002). Una volta inseriti i dispositivi all'interno della confezione, è opportuno introdurre anche uno o più indicatori di ossigeno al fine di verificare la reale concentrazione del gas all'interno dell'involucro reso anossico e di accertare contemporaneamente la buona riuscita del trattamento. Generalmente la concentrazione di ossigeno viene controllata tramite idonei congegni o al momento dell'immissione dell'atmosfera modificata negli involucri oppure posizionando all'interno degli imballaggi appositi indicatori che cambiano il loro colore in relazione alla concentrazione presente di ossigeno (virando al rosso con valori $<0,1\%$ e al blu con valori $>0,5\%$).

Per eliminare tutti gli stadi degli insetti infestanti occorrono almeno tre settimane di trattamento ad una temperatura di $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Pinniger, 2001).

Trattamento dinamico. Il trattamento effettuato in eccesso di anidride carbonica, usato già da molti anni nel settore agro-alimentare, può essere eseguito in autoclave o con l'ausilio di un qualsiasi contenitore sigillato purché i materiali siano confezionati con pellicole impermeabili all'ossigeno (ad esempio polietilene ad alta densità, poliestere, laminato di alluminio). Pellicole con basso rateo di diffusione di ossigeno sono da preferire in caso di conservazione a lungo termine. Poiché l'anidride carbonica è isolata termicamente in contenitori a temperature molto basse, è necessario prestare attenzione, al momento dell'immissione, che il flusso del gas non danneggi a causa del raffreddamento gli oggetti da trattare. Si può ovviare a questo inconveniente utilizzando dispositivi connessi tra gli erogatori e le confezioni in grado di far evaporare il gas scaldandolo alla temperatura voluta.

Dopo aver creato il vuoto nella confezione, si immette il gas preriscaldato a $20\text{-}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (alla concentrazione del $60\text{-}80\%$) che dovrà essere tenuto in movimento per impedirne la stratificazione verso il basso (essendo più pesante dell'aria) e per garantire quindi l'efficacia dell'intervento. L'effetto biocida dell'anidride carbonica è maggiore in presenza di ossigeno ed è pertanto controproducente usare livelli superiori al 90% (Pinniger, 2001). Infatti in un ambiente saturo di anidride carbonica, gli organismi sviluppano le loro capacità di autodifesa tanto da esaltare l'effetto narcotizzante del gas a scapito di quello asfissiante (Capizzi & Zanelli, 2008). Per completare con successo il trattamento risulta necessario monitorare in continuo oltre la concentrazione del gas anche l'umidità relativa e la temperatura, in modo da intervenire tempestivamente qualora si dovessero modificare le condizioni prestabilite. Al fine di evitare la formazione di acido carbonico (che potrebbe causare una variazione del pH dei beni) è opportuno mantenere i valori dell'umidità relativa tra il 50% e il 55% . La durata del trattamento è in genere di tre settimane (o anche più) correlandola a variabili quali la tipologia di specie infestante e le dimensioni del bene da bonificare.

Anche nel caso in cui si utilizzi l'azoto (più economico rispetto all'argon o all'elio), il trattamento deve essere eseguito con bassi livelli di ossigeno ($<0,3\%$) e in camere speciali impermeabili a quest'ultimo gas. La velocità di trattamento è in funzione della specie infestante e della temperatura. Temperature di $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ o superiori dovrebbero essere sufficienti a uccidere i vari stadi di tutte le specie di insetti dopo due o tre settimane di esposizione (Pinniger, 2001).

Il gas (contenuto in bombole o prodotto da generatori che, attraverso sistemi di filtrazioni multiple, lo estraggono dall'atmosfera) deve essere riscaldato ma soprattutto umidificato prima dell'immissione nelle confezioni per evitare che un eccessivo abbassamento dell'U.R. possa disidratare i materiali con conseguenti danni irreversibili (co-

me ad esempio la rottura e la formazione di rigonfiamenti su superfici policrome o l'infragilimento di pitture ad olio). L'uso di umidificatori durante il trattamento risulta quindi indispensabile per mantenere l'umidità ai valori iniziali. I bassi livelli di ossigeno possono essere raggiunti abbastanza rapidamente nelle confezioni piccole mentre per quelle più grandi è necessario ripetere più lavaggi con il gas e aspirare ogni volta l'aria residua per rendere il procedimento più veloce ed economico; l'immissione dell'azoto viene arrestata quando la concentrazione dell'ossigeno scende ad una percentuale dello 0,1-0,2%. Per effettuare un trattamento ottimale la temperatura deve essere compresa tra 20-25 °C e l'umidità relativa tra 50-55%.

La specie infestante e la dimensione dei materiali da trattare determinano il tempo di esposizione che può oscillare dalle tre settimane a un mese (Montanari, 2007).

Trattamento misto. Esistono anche sistemi di trattamento misto per la disinfestazione di oggetti di grandi dimensioni che affiancano all'uso del gas inerte i captatori di ossigeno. In tal modo è possibile non solo stabilizzare la concentrazione di ossigeno voluta ma anche assorbire la sua lenta perdita nella confezione che potrebbe favorire la sopravvivenza dell'insetto. Ovviamente per ognuno dei trattamenti citati esistono procedure ben codificate da seguire.

In termini generali si può affermare che l'efficacia di un intervento eseguito con atmosfere controllate o modificate è strettamente correlata alla temperatura e all'umidità relativa, ad esempio un aumento della temperatura accelera le funzioni vitali dell'organismo velocizzando la risposta al trattamento mentre un aumento della umidità relativa potrebbe consentire l'attivazione di spore fungine con possibili danni anche in condizioni di anossia (Pinzari *et al.*, 2003). Al contrario una temperatura troppo bassa durante il trattamento può provocare uno stato di diapausa dell'insetto che, a causa della respirazione ridotta, paradossalmente diventa più resistente alla disidratazione (Johnson, 2010).

Le numerose esperienze indicano che per un trattamento di anossia i parametri consigliati sono: ossigeno <0,1%, T>20 °C, U.R. 50% (Gunn *et al.*, 2007). Temperature inferiori ai 20 °C sono sconsigliate perché comportano un protrarsi eccessivo del trattamento (Pinniger, 2001). Infatti, a questa temperatura, esposizioni più lunghe (quattro o cinque settimane) possono essere richieste per debellare ad esempio *Anobium punctatum*, insetto notoriamente tollerante a bassi valori di ossigeno e ad alti valori di anidride carbonica.

L'utilizzo di gas compressi implica la movimentazione di grandi quantità di bombole ad elevata pressione (200 atmosfere) con relativi problemi di trasporto, logistica e di sicurezza. All'esterno delle camere di fumigazione deve essere sempre controllata la composizione dell'aria in quanto errori procedurali o anche una perdita inavvertita di anidride carbonica nell'area di trattamento potrebbero determinare incidenti anche mortali (una persona muore se esposta a condizioni atmosferiche con concentrazioni di ossigeno inferiori all'8%). Si consideri, inoltre, che manovre errate nella apertura dei riduttori di pressione possono fare convogliare nella confezione un flusso di gas ad altissima velocità la cui energia cinetica è in grado di causare seri danni agli oggetti investiti.

Per ottenere un'atmosfera controllata/modificata e utilizzarla al meglio, oltre a disporre della strumentazione che permette di generare e controllare la composizione della miscela, è necessario assicurarsi anche che non si verifichino scambi tra l'ambiente sigillato e quello esterno. Di fondamentale importanza risulta, quindi, la scelta della pellicola da usare per il confezionamento che necessariamente dovrà essere impermeabile all'ossigeno e al vapore acqueo per consentire il mantenimento delle condizioni prestabilite.

Generalmente si preferiscono film multistrato costituiti da uno strato esterno di poliestere o polipropilene ad alto punto di rammollimento, uno strato intermedio di alluminio, ceramica, etilvinilalcol (che costituisce la vera e propria barriera) e uno strato interno di polietilene a bassa densità con basso punto di rammollimento. Eseguito l'imballaggio, la pellicola va sigillata mediante pinze termosaldanti.

I trattamenti possono essere svolti *in situ* inserendo i materiali nelle camere di fumigazione generalmente costituite da contenitori di acciaio o da involucri - *bubble* gonfiabili. I primi, a tenuta perfetta, risultano molto costosi e non trasportabili; le seconde, invece, pur avendo una tenuta minore, sono di semplice impiego essendo facilmente smontabili, pieghevoli e quindi trasportabili.

Si cita a titolo d'esempio il sistema VELOXY®, un brevetto italiano, basato sull'utilizzo di azoto a bassa pressione e ad umidità controllata. L'azoto viene preparato sul posto sfruttando la differente viscosità dei gas che compongono l'atmosfera e inducendo la loro "filtrazione" attraverso capillari che fungono da setacci molecolari. In tal modo gli oggetti, chiusi in involucri di polietilene/poliestere a una concentrazione di ossigeno <0,2%, possono essere trattati direttamente nell'ambiente di conservazione. Per l'applicazione di tale metodo non occorrono patentini o autorizzazioni particolari in quanto il gas utilizzato non è compresso (Gialdi, 2014). Un limite di questa tecnologia potrebbe essere costituito non solo dai costi elevati e dai tempi lunghi di trattamento ma anche da inconvenienti tecnici come la possibile perforazione degli imballaggi (nel caso il trattamento viene inficiato) e la difficoltà nel mantenere bassa la concentrazione di ossigeno per la continua emissione di questo gas da parte dei beni stessi.

4.1.4 I trattamenti con le radiazioni

4.1.4.a I raggi UV

I raggi ultravioletti (UV) sono radiazioni non ionizzanti prodotte da lampade a vapori di mercurio eccitati da una corrente elettrica. La massima azione biocida viene svolta a 254 nm tramite la degradazione degli acidi nucleici. Gli UV hanno scarsa capacità di penetrazione e vengono di norma utilizzati per la sterilizzazione blanda di superfici oppure di aria e acqua (Sequeira *et al.*, 2012). Poiché interagiscono con i materiali organici deteriorandoli (depolimerizzazione e fotoossidazione della molecola di cellulosa con tipico imbrunimento, decolorazione dei pigmenti ecc.) (Salvadori, 2003; Sequeira *et al.*, 2012) non possono essere impiegati per materiale archivistico e librario. I raggi ultravioletti devono essere utilizzati con cautela e a distanza dagli operatori, essendo agenti mutageni ed estremamente dannosi per gli occhi.

In entomologia i raggi UV vengono adoperati per la realizzazione di lampade per la cattura e il monitoraggio di insetti dannosi e non (vedi capitolo 5).

4.1.4.b I raggi gamma

I raggi gamma sono onde elettromagnetiche ad alta penetrazione, esattamente fasci di fotoni o di elettroni accelerati in grado di indurre nel materiale trattato modifiche di natura chimico-fisica o biologica al fine di conseguire obiettivi ben definiti. Le sorgenti di radiazioni più comunemente utilizzate sono il Cobalto (^{60}Co), il Cesio (^{137}Cs) e gli acceleratori di elettroni. Tra ^{60}Co e ^{137}Cs 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) che consente di disporre di sorgenti abbastanza inten-

se per trattare in tempi ragionevolmente brevi prodotti voluminosi e imballati. 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. Anche per quanto riguarda possibili contaminazioni radioattive dei prodotti irradiati, è da escludere qualsiasi pericolo: mentre le sorgenti radioisotopiche sono doppiamente incapsulate in acciaio inossidabile, le macchine acceleratrici di elettroni non utilizzano sostanze radioattive, in alcuna forma, escludendo per principio la possibilità di contaminazione dei prodotti.

Le tecnologie di irraggiamento a livello industriale trovano vasti campi di applicazione, basti pensare alla sterilizzazione dei prodotti medicali monouso e delle materie prime per cosmetici, alla gestione dei rifiuti speciali, al miglioramento igienico-sanitario dei prodotti agro-alimentari offerti al consumo e ai processi di *crosslinking* e *curing* per migliorare le caratteristiche tecniche di cavi, polimeri, vernici, inchiostri, materiali per costruzioni ecc. Nel mondo sono presenti oltre 1000 impianti (basati su ^{60}Co o macchine acceleratrici) per applicazioni industriali di cui circa 20 attivi in Italia. Quelli progettati per molteplici applicazioni, che possono eseguire trattamenti mirati o concepiti per uno scopo specifico ma convertibili anche per attività di servizio, sono circa 120 (Adamo *et al.*, 2004).

Dal punto di vista biologico, i benefici del processo sono correlati alla capacità dell'alta energia delle radiazioni di distruggere qualsiasi forma di vita; il meccanismo d'azione è associato ai danni irreversibili arrecati al DNA delle cellule, tali da devitalizzare indiscriminatamente e contemporaneamente tutte le forme di vita presenti sulla superficie e all'interno del materiale trattato. Tale peculiarità rende l'irraggiamento, così come l'ossido di etilene, l'unico trattamento in grado di bonificare il materiale da tutti i bio-deteriogeni presenti.

Le caratteristiche dei raggi γ possono essere così sintetizzate:

- alta penetrazione con possibilità di trattare i beni anche in involucri protettivi, impedendo ogni eventuale successiva ricontaminazione;
- possibilità di trattare oggetti di grandi dimensioni;
- tempi brevi di trattamento;
- elevata omogeneità del trattamento;
- nessuna variazione della temperatura;
- indipendenza da fattori climatici (temperatura, umidità, pressione);
- efficacia correlata alla dose: unico parametro da misurare è il tempo di esposizione alle radiazioni (individuato il rateo di dose o dose assorbita nell'unità di tempo, correlato al decadimento della sorgente e alla distanza del materiale dalla sorgente stessa);
- assenza di residui chimici nel prodotto (nessun rischio per operatori, utenti e ambiente);
- utilizzo immediato del materiale trattato.

Proprio per queste particolarità le tecnologie di irraggiamento potrebbero essere utilizzate in caso di trattamenti di massa con grossi quantitativi di materiale da bonificare in tempi brevi, come ad esempio in caso di infezioni e/o infestazioni massive a carattere episodico o in seguito ad eventi eccezionali (alluvioni, allagamenti, terremoti ecc.) dopo i quali si potrebbe dover manipolare anche materiale contaminato da acque nere.

L'effetto biocida delle radiazioni, così come i relativi effetti avversi, sono noti sin dall'inizio del XX secolo; nel corso di questi decenni molti studi sono stati condotti soprattutto sulla radioresistenza degli insetti che hanno sempre svolto un ruolo di grande interesse in campo agricolo, veterinario e sanitario. Questo ha fatto sì che l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) dell'ONU realizzasse un database internazionale l'IDIDAS (International Database on Insects Disinfestation & Sterilization) che fornisce informazioni sulle dosi di radiazioni da applicare per ottenere la disinfestazione di derrate alimentari o la sterilizzazione sessuale di insetti da impiegare nella tecnica dell'insetto sterile (SIT) per combattere insetti nocivi in agricoltura e alla salute umana.

Sin dagli anni '50 le radiazioni sono state usate per debellare gli insetti xilofagi tanto che negli anni '70 furono costruiti due impianti dedicati alla conservazione del patrimonio artistico: il primo fa ora parte del laboratorio ARC-Nucleart di Grenoble (che opera in convenzione con il Commissariat à l'Energie Atomique - CEA della Francia) e il secondo appartiene al Museo Centrale Bohemia Roztoky di Praga. Negli ultimi anni la sensibilità di molti governi alla questione ambientale e gli approfondimenti delle conoscenze sugli effetti nocivi degli agenti chimici nei confronti dell'ambiente e della stessa salute umana, hanno dato nuovo impulso alle tecnologie di irraggiamento viste come possibile alternativa ai sistemi utilizzati per trattamenti biocidi che si basano prevalentemente sulla fumigazione con ossido di etilene.

Sull'argomento, a livello internazionale, la ricerca ha mostrato una evidente convergenza di interessi circa la necessità di effettuare studi per valutare gli effetti di queste onde elettromagnetiche sulle proprietà chimico-fisiche dei substrati irraggiati e per identificare, a seconda dei casi, la dose da utilizzare per trattamenti di bonifica in considerazione del fatto che il principale ostacolo all'uso delle radiazioni, su materiale cartaceo, è la diminuzione del grado di polimerizzazione della cellulosa. Numerosi gruppi di ricerca, che operano a livello internazionale, hanno confermato l'efficacia delle radiazioni ionizzanti arricchendo le conoscenze del loro effetto sugli organismi biodeteriogeni. Un lavoro pubblicato da ricercatori brasiliani (Otero D'Almeida *et al.*, 2009), sebbene sottolinei che il processo d'irraggiamento del materiale cartaceo sia tuttora oggetto di pareri controversi e che, quindi, necessita di studi complementari, evidenzia tuttavia l'assenza di alterazioni nei campioni trattati con dosi fino a 15 kGy. Alla stessa conclusione è giunto un altro gruppo di ricerca brasiliano (Rizzo *et al.*, 2009) intervenuto su un dipinto del XVII secolo gravemente deteriorato da microfunghi. Un ulteriore gruppo di ricercatori romeni, sulla base dei risultati ottenuti mediante test fisici e microbiologici, consiglia una dose di trattamento compresa tra 5 e 7 kGy per ottenere una significativa riduzione del carico biodeteriogeno e con effetti negativi minimi sul substrato cartaceo (Moise *et al.*, 2012). Alcuni autori indicano un effetto sinergico tra radiazioni gamma e calore, in modo da diminuire la dose di almeno venti volte (Ben-Arie & Barkai-Golan, 1969; Hanus, 1985; Justa & Stifter, 1992) ma non risulta che siano stati eseguiti studi per verificare gli effetti sul materiale cartaceo (Sequeira *et al.*, 2012).

Nonostante il processo di irraggiamento sia molto studiato, a tutt'oggi non è ancora disponibile una procedura standard generalmente applicabile ma, a seconda del problema da risolvere e delle caratteristiche del materiale da trattare, vanno studiate e messe a punto di volta in volta le dosi e le condizioni di irraggiamento ottimali. Il principale ostacolo allo sviluppo di questa tecnologia è costituito dagli effetti negativi che le radiazioni inducono nella carta sia in maniera diretta sui legami intermolecolari della macromolecola di cellulosa sia indirettamente attraverso un effetto chimico mediato dai radicali liberi che possono causare ulteriori cambiamenti (Magaudda, 2004).

Con particolare riferimento all'effetto diretto, le radiazioni gamma agiscono sul polimero cellulosa attraverso due meccanismi: la rottura delle catene (scissione del legame β glicosidico) e un *crosslinking* simultaneo tridimensionale, misurabili come decremento del grado di polimerizzazione (DP), quest'ultimo sempre proporzionale alla dose di radiazione assorbita. Mentre il *crosslinking* tende a rafforzare le proprietà meccaniche e a stabilizzare i materiali cellulosici, la rottura delle catene agisce in maniera contraria. Poiché questo fenomeno diventa tipicamente dominante dopo i 10 kGy (Baccaro *et al.*, 2013), valore superiore a quelli richiesti per ottenere la disinfestazione (≤ 2 kGy) (Magaudda *et al.*, 2000; IAEA, 2009) non sembra del tutto azzardata l'ipotesi di pensare con ragionevole tranquillità ad un trattamento disinfestante con raggi gamma.

Per quanto concerne, invece, il problema dei radicali liberi, elementi chimici altamente instabili ed energetici di breve vita (10^{-3} secondi), essi sono ritenuti responsabili degli effetti post-irraggiamento anche a lungo termine in quanto possono rimanere intrappolati nelle gabbie elettrostatiche della struttura cristallina del materiale. Nell'azione indiretta dei radicali liberi un ruolo fondamentale è svolto dall'ossigeno presente nell'aria durante l'irraggiamento (Gillen *et al.*, 1986): più è lungo il tempo di esposizione (basso *dose-rate*) maggiori saranno i possibili danni indiretti. Per ovviare a questa controindicazione si può ricorrere ad impianti gamma sufficientemente potenti. Però, poiché la produzione dei radicali liberi è proporzionale alla dose di radiazioni assorbita, i loro effetti, ai dosaggi indicati per un trattamento di disinfestazione, possono considerarsi insignificanti (IAEA, 2009).

Dalle ricerche effettuate nel corso degli anni è emerso che i materiali trasparenti possono essere influenzati dai raggi gamma i quali causano l'attivazione dei centri di colore anche a dosi inferiori ad 1 kGy. Il vetro imbrunisce e le gemme possono cambiare colore così come il vetro smaltato; questi fenomeni, più o meno reversibili, sono strettamente correlati al grado di impurezza contenuta. Anche il corno, la madreperla, la ceramica bianca possono leggermente imbrunire e/o ingiallire ma solo alle dosi utilizzate per trattamenti fungicidi, anche se tali effetti tendono a scomparire dopo qualche mese. Diversamente i materiali opachi colorati come ad esempio lapislazzuli, occhio di tigre e tartaruga possono essere irraggiati a 10 kGy senza nessuna controindicazione. I metalli mostrano fra tutti i materiali sperimentati, il comportamento migliore, pure dopo ripetuti trattamenti disinfestanti (IAEA, 2009).

Infine anche i moderni materiali sintetici usati nel restauro e nella conservazione sono stati testati all'irraggiamento e nessuna perdita delle funzionalità meccaniche è stata riportata per adesivi, sigillanti, mastici ricoprenti, consolidanti e materiale di riempimento. Altri materiali usati nella conservazione come Paraloid® B72, resina Plextol® B500, Toupret® fillier, Lefranc & Bourgeois®, "gesso sintetico" e i colori da ritocco Liquitex® non hanno evidenziato cambi di colore eccetto per il bianco Modostuc® un materiale di rivestimento-riempimento. Interessante è stato notare la reversibilità dei quattro prodotti usati nella conservazione Paraloid B72, ketone-N resin Laropal® K80, polivinil acetato Mowilith® e glicole polietilenico confermata anche dopo un irraggiamento di 100 kGy (IAEA, 2009).

Applicazioni a livello internazionale

Uno dei primi rapporti relativo all'irraggiamento di una grande quantità di documenti di carta è stato quello della collezione Gantt appartenente al Johns Hopkins Hospital di Baltimora - USA (manoscritti, fotografie e documentazione medica risalenti all'inizio del XX secolo), fortemente biodeteriorata. Tutto il materiale fu trattato con dosi di 4,5 kGy. Gli unici test effettuati al tempo (nel 1980) furono quelli colorimetrici e biologici; dopo venti anni dal trattamento non furono evidenziati ancora effetti negativi visibili

(Sinco, 2000). Altro intervento con raggi gamma fu eseguito per bonificare il materiale della biblioteca universitaria Morgan Library a Fort Collins in Colorado (USA) a seguito dell'alluvione del 28 luglio 1997 (Silverman, 2004). Migliaia di libri, periodici e giornali biodeteriorati furono irraggiati a dosi di 15 kGy e, senza eseguire analisi post-irraggiamento, dopo ulteriori procedimenti di pulitura, furono ricollocati nei locali ripuliti dal fango. Negli USA operano società (ad esempio la Isotron con filiali in quasi tutto il mondo) fornitrici del servizio d'irraggiamento che, all'occorrenza, assicurano il trattamento dei beni culturali custoditi nelle istituzioni museali.

In Romania dal 2001 opera un impianto presso l'IRASM - Department of National Institute for Physics and Nuclear Engineering. In questi anni le attività, inizialmente di ricerca, sono state gradatamente destinate ad interventi applicativi principalmente su oggetti in legno delle chiese, quasi sempre dipinti (iconostasi e icone), nonché arredi custoditi in ambiente museale. A questi oggetti vanno aggiunti libri e pellicole cinematografiche (Ponta, 2008; Bratu *et al.*, 2009; Cutrubinis *et al.*, 2010). Su tale ultima categoria di beni culturali i ricercatori romeni hanno svolto accurate ricerche mediante le quali hanno evidenziato che, utilizzando un range di dosi compreso tra 25 e 50 kGy, la pellicola non subisce alcuna modifica delle sue proprietà meccaniche (Mitran *et al.*, 2002).

Un gruppo di ricercatori francesi, pur utilizzando lo stesso tipo di pellicola, riporta conclusioni diverse probabilmente per l'applicazione di metodologie differenti impiegate per valutare l'effetto sinergico dell'invecchiamento artificiale e dell'irraggiamento gamma (Gillet *et al.*, 2002). Tali contraddizioni potrebbero essere imputabili al fatto che gli effetti di un qualsiasi trattamento sono correlati all'intensità del trattamento stesso e, quando questo viene condotto con metodi diversi, al relativo meccanismo d'azione. Nel caso specifico i due gruppi di ricercatori hanno effettuato l'invecchiamento artificiale utilizzando temperature, condizioni di umidità e tempi sperimentalmente differenti. Anche nel Regno Unito sono state svolte ricerche con successo su legno di provenienza archeologica; gli studi effettuati hanno dimostrato l'assenza di effetti indesiderati se questo materiale veniva sottoposto a dosi di radiazioni persino superiori alla dose di sterilizzazione (20-30 kGy) (Pointing *et al.*, 1998). In Svizzera, dove a livello industriale opera la società DOCUSAVE, sono stati valutati positivamente i test d'irraggiamento eseguiti su materiale cartaceo attaccato da microrganismi. In Olanda presso il TNO (The Netherlands Organization for Applied Scientific Research), dosi < di 10kGy vengono indicate come efficaci nel bonificare materiale d'archivio da funghi microscopici (Havermans & De Bruin, 2007).

Positive esperienze di disinfezione sono state svolte in Germania su 15-20.000 volumi della biblioteca di Lipsia (Leliwa-Kania *et al.*, 1997). In Croazia negli ultimi 25 anni, nell'impianto gamma dell'Istituto Ruber Boscovic di Zagabria, sono state trattate circa 5000 sculture in legno dipinto, parti di altari e di mobili, strumenti musicali, materiale cartaceo, tessuti e cuoio. Tale trattamento, anche se a dosi relativamente più basse (1-2 kGy), è stato applicato a scopo preventivo su materiale in "quarantena" prima della sua esposizione permanente nel Museo d'Arte Moderna (Katusin-Razem *et al.*, 2009). Nella Repubblica Ceca, presso il Museo Centrale Boemo Roztoky di Praga, fin dal 1982 si è sperimentato con successo l'irraggiamento di circa 1800 oggetti in materiale tessile, cartaceo, ceramico e ligneo, di varie dimensioni (Urban & Justa, 1986).

L'IAEA, 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 caratterizzazione e la preservazione del patrimonio artistico (IAEA, 2011).

Si ricorda a tale proposito il TC Project RER8015 (2009-2011) “Using Nuclear Techniques for Characterization and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the Europe region” promosso dal Technical Cooperation Department of the European Region. Lo scopo del progetto è stato quello di migliorare la caratterizzazione e la salvaguardia del patrimonio artistico attraverso l’applicazione di tecniche nucleari con speciale enfasi per il trattamento con radiazioni gamma da utilizzarsi per la eradicazione di insetti, la disinfezione di vari materiali e il consolidamento di materiale degradato. Successivamente nel novembre 2012, la stessa Agenzia ha organizzato, in collaborazione con il governo portoghese, il Regional Training Course On Radiation Technology for Cultural Heritage Preservation (RER/0/034), a cui hanno partecipato rappresentanti di paesi europei e dell’Asia centrale. Lo scopo è stato quello non solo di approfondire le conoscenze degli effetti delle radiazioni sui materiali cellulosici, sui microrganismi e sulla dosimetria ma anche di formulare nuove proposte applicative di tale tecnologia.

Per un corretto utilizzo dell’irraggiamento è opportuno comunque prima di sottoporvi un qualsiasi bene, valutare attentamente alcuni parametri quali: la tipologia e l’entità di attacco, le caratteristiche del materiale (valore artistico, storico), l’urgenza dell’intervento e le alternative possibili. Di volta in volta andranno inoltre identificate le condizioni e le dosi idonee di irraggiamento utili a ridurre il numero dei biodeteriogeni presenti e che al tempo stesso non provochino, o che perlomeno limitino al minimo, i possibili effetti indesiderati. L’uso di basse dosi di irraggiamento (≤ 4 kGy), che tuttavia garantiscono la disinfestazione e una buona riduzione della carica microbica (Area *et al.*, 2014), se abbinato ad un controllo termogravimetrico dei locali di conservazione, consente di poter fissare un obiettivo meno drastico di quello della sterilizzazione. Non ha senso, infatti, ricollocare in ambienti con carica microbica sempre presente i materiali resi sterili, la cui manipolazione e/o consultazione (ad esempio i materiali archivistici-librari) in condizioni non certamente asettiche vanificherà in tempi molto brevi i benefici del trattamento subito. Ne consegue quindi l’inopportunità di trattare i beni biodeteriorati con dosi sterilizzanti di 25 kGy, o superiori, che comporterebbero un notevole quanto inutile deterioramento della macromolecola di cellulosa. A tal proposito, si desidera richiamare l’attenzione sul DP che viene abitualmente misurato tramite metodi viscosimetrici non privi di limitazioni e facilmente influenzabili da errori; nell’interesse generale, grazie ad una tecnica sviluppata recentemente, denominata Size Exclusion Chromatography (SEC) che garantisce una accuratezza migliore (IAEA, 2009), sarebbe opportuno verificare nuovamente i risultati già noti in letteratura.

Qualora non fosse possibile valutare gli effetti chimico-fisici delle radiazioni gamma sul materiale, è consigliabile prendere in considerazione il rapporto costo/beneficio confrontandolo con quello di altre tecniche disponibili, evitando nell’incertezza di commettere l’errore di considerare come valida alternativa l’opzione “del non intervenire”, che porterà inevitabilmente alla perdita del bene. A volte l’informazione conservata sulla carta è più importante del supporto stesso (archivi, collezioni fotografiche, ecc.) e riuscire a prolungare l’esistenza di tali testimonianze nel tempo vuol dire continuare ad avere a disposizione una “istantanea” relativa sia alla vita quotidiana sia alle caratteristiche specifiche di alcuni periodi storici.

I limiti delle tecnologie di irraggiamento sono rappresentati non tanto dagli alti costi di investimento richiesti per la realizzazione dell’impianto (possono essere ovviati con l’utilizzo di trattamenti effettuati in “service”), quanto dal rifiuto a priori dei conservatori per le metodologie nucleari e soprattutto dalla mancanza di risultati esaustivi e univoci sugli effetti radioindotti che non consente al momento di optare incondizionatamente per questo metodo.

Al riguardo i numerosi gruppi di ricerca, che operano a livello internazionale, hanno confermato l'efficacia di tale tecnologia e arricchito le conoscenze degli effetti dei raggi γ sulle proprietà merceologiche della carta ma sfortunatamente hanno opinioni diverse sull'uso di tale metodo e sulla esatta dose da impiegare. L'incertezza deriva non solo dal fatto che non sono stati adottati gli stessi criteri di indagine ma anche perché la maggior parte dei test disponibili per la caratterizzazione post-irraggiamento è di tipo distruttivo, fatto che costituisce un ulteriore ostacolo alla ricerca e quindi alla diffusione del processo.

Qualsiasi trattamento ha i suoi effetti collaterali che costituiscono essi stessi causa di degrado per il bene; la modesta depolimerizzazione che si verifica alle dosi raccomandate per un reale trattamento (3-7 kGy) potrebbe essere ritenuta accettabile qualora ci si trovasse a fronteggiare emergenze naturali quando sono numerosi i beni da trattare (soprattutto quelli con substrato cartaceo) tempestivamente perché soggetti ad un rapido deterioramento. L'IAEA, che si occupa appunto delle applicazioni dell'energia nucleare per scopi pacifici, nella sezione relativa a "Nuclear Science and Application" considera la possibilità di utilizzo delle radiazioni gamma per la conservazione di oggetti d'arte (legno, stoffe, lacche, pietre) e incoraggia al tempo stesso ulteriori ricerche che mirino all'approfondimento degli effetti dell'irraggiamento su materiale cartaceo (IAEA, 2014).

Studi ENEA sull'irraggiamento di materiale cartaceo

L'ENEA da molti anni investe risorse non trascurabili, mettendo a disposizione il proprio *know-how* sulle radiazioni, gli impianti (fig. 4.1) e i laboratori, per la messa a punto di un processo che utilizzi i raggi γ per la disinfezione e/o disinfestazione di beni culturali con particolare riferimento al materiale archivistico-librario. Allo scopo di condividere metodologie e obiettivi insieme agli utilizzatori finali dei risultati attesi, ha collaborato con diverse istituzioni pubbliche.

Un ampio range di dosi (utilizzando per la dosimetria la norma ASTM Standard D 1671-72: Absorbed gamma radiation dose in the Fricke dosimeter) è stato testato includendo, nel protocollo sperimentale, anche dosaggi significativamente più alti di quelli richiesti per una reale applicazione proprio per evidenziare gli eventuali effetti negativi sul substrato. I risultati ottenuti dall'attività sperimentale condotta, seguendo le procedure standard, indicano le radiazioni ionizzanti estremamente efficaci nella eradicazione degli insetti nocivi e nella disinfezione dai microrganismi e che i cambiamenti indotti alle proprietà chimico-fisiche della carta sono fortemente correlati alla quantità di raggi gamma assorbiti dal materiale.

Le dosi necessarie per un opportuno trattamento (indicativamente ≤ 2 kGy per gli insetti e 3-7 kGy per i microrganismi) non inducono effetti significativamente negativi sulle caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche della cellulosa pura (Adamo *et al.*, 1998), della carta permanente (Adamo *et al.*, 2001) e non influiscono sulla stabilità cromatica degli inchiostri da stampa (Rocchetti *et al.*, 2002) né sulla vulnerabilità del materiale irraggiato quando questi sia nuovamente sottoposto all'attacco di biodeteriogeni (Magaudda *et al.*, 2001; Adamo & Magaudda, 2003; Adamo *et al.*, 2003).

Con riferimento allo studio sulla vulnerabilità, le prove sperimentali sono state effettuate mediante numerosi test biologici (messi a punto nel corso della sperimentazione nei laboratori ENEA) eseguiti con insetti corrodenti Blattoidei (*Blaptica dubia* e *Periplaneta americana*) e microfunghi cellulolitici (*Penicillium* spp.), organismi scelti come modello tra i molti biodeteriogeni della carta perché ubiquitari e responsabili di alterazioni vistose.



Fig. 4.1 - Vista della cella di irraggiamento dell'impianto "Calliope" - ENEA.
In primo piano la piattaforma per il posizionamento dei campioni e al
centro la rastrelliera con le sorgenti di ⁶⁰Co

Lo scopo della ricerca era accertare se, considerando il fenomeno negativo della depolimerizzazione della cellulosa, tali deteriogeni potessero essere più distruttivi nei confronti di un materiale già degradato dalle radiazioni (rispetto a quello non irraggiato) qualora, nel periodo successivo di conservazione, si fosse verificata una nuova infestazione (in ragione del fatto che, come tutti i trattamenti di bonifica, l'irraggiamento non protegge da nuovi attacchi). I risultati ottenuti (ricavati dallo studio dello sviluppo delle colonie fungine e delle erosioni provocate dall'insetto corrodente) hanno permesso di stabilire che la vulnerabilità delle carte testate (cellulosa, carta permanente, carta di quotidiani e riviste) è proporzionale alla quantità di radiazioni assorbite.

Nell'ambito dei materiali fotografici, studi preliminari sono stati condotti e altri sono ancora in corso d'opera per capire se sia possibile continuare la sperimentazione su questi beni altamente compositi ma i cui danni da radiazione, ad oggi, risultano scarsamente esaminati. L'eterogeneità e complessità di questi beni rende le indagini relative alle verifiche post-irraggiamento molto difficili per la scelta delle opportune analisi chimico-fisiche da effettuare.

La campagna sperimentale è iniziata con prove preliminari di tipo biologico, condotte come precedentemente indicato, per testare la dose minima di 3 kGy. Anche in questo caso i risultati hanno confermato che tale dosaggio non induce nella carta fotografica (gelatina, sensibilizzata al bromuro d'argento) modifiche significative tali da favorire lo sviluppo del microfungo cellulosolitico o le erosioni da parte dell'insetto corrodente rispetto ai controlli non irraggiati (Sclocchi *et al.*, 2010; Adamo *et al.*, 2011a). Nell'affrontare lo studio degli eventuali danni da radiazione sulle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali costitutivi di tali beni, si è ritenuto opportuno verificare prima gli effetti del trattamento sulla cromaticità o sulla solidità del colore di diverse tipologie di materiali fotografici. Eventuali variazioni di colore avrebbero escluso a priori ogni possibilità di approfondimento in merito. Alcune prove esplorative sono state pertanto eseguite allo scopo di indagare l'effetto di un ampio range di dosi γ (3, 5, 10 ma anche 25, 50 e 100 kGy - queste ultime utilizzate puramente allo scopo di evidenziare possibili effetti negativi legati a dosi eccessive) su diverse tipologie di materiale fotogra-

fico (stampe all'albumina, stampe al collodio e alla gelatina, stampe alla gelatina colorate manualmente all'anilina e stampe a sviluppo cromogeno, di varie epoche).

I risultati ottenuti hanno mostrato che le radiazioni gamma non influenzano la stabilità cromatica dei campioni in quanto fino a dosi di 5 kGy non sono state registrate rilevanti variazioni dei parametri L^* , a^* , b^* né del rispettivo valore ΔE -mg. Solo alla dose di 10 kGy il valore della luminosità L^* ha iniziato a modificarsi a differenza delle coordinate cromatiche a^* e b^* che invece non hanno manifestato variazioni degne di nota (Adamo *et al.*, 2009b; Adamo *et al.*, 2013a, 2013b).

I diversi punti di colore dei campioni sono stati espressi mediante le coordinate L_{mg} , A_{mg} , B_{mg} (la sigla mg sta per Moniga-Gremmo, gli ideatori dello spazio colore LABmg) - spazio colore LABmg-UNI 9926:1992 (LABmg: new color space linear to the CMC tolerances) - rispettivamente calcolate a partire dalle coordinate L^* , a^* , b^* del CIELAB system (Commission Internationale de l'Éclairage 1976) ISO 7724-1:1984 (Paints and varnishes - Colorimetry - Part 1: Principles). Le differenze di colore sono state calcolate secondo le modalità indicate dalla norma ISO 7724-3:1984 (Colorimetry - Part 3: Calculation of colour differences).

Altri test relativi all'effetto dell'irraggiamento γ sono stati condotti sempre per verificare gli effetti sulla cellulosa. Lepore *et al.* (2012), hanno affrontato lo studio, mediante spettroscopia NMR, dell'interazione dell'acqua (e dell'umidità) con la cellulosa sottoposta ad irraggiamento. La tecnica utilizzata risulta di grande interesse in quanto, essendo non distruttiva, permette di valutare lo "stato di salute" della carta, in termini di invecchiamento, dalla semplice analisi dei segnali NMR bidimensionali (mappe di correlazione) prodotti dalle molecole di acqua presenti nel *network* della cellulosa. Per simulare inoltre l'invecchiamento artificiale, si è utilizzata la radiazione γ in un ampio intervallo di dosi assorbita (0-500 kGy): in tal modo è stato possibile analizzare la correlazione tra le modifiche indotte dalla radiazione nella struttura della cellulosa e la corrispondente variazione in termini di assorbimento dell'acqua. A tal proposito si è osservato che sono distinguibili due differenti "tipologie" di molecole di acqua: la prima corrisponde a molecole di acqua più "libere", meno legate al network della cellulosa e associabile all'acqua presente in forma di piccole "pozze" intrappolate tra le catene polimeriche, la seconda è relativa ai legami idrogeno inter e intra-molecolari ed ai ponti idrogeno dovuti a molecole di acqua, caratterizzate da una minore mobilità. All'aumentare delle dosi è evidente una diminuzione progressiva ed infine la scomparsa del segnale NMR relativo alle molecole d'acqua più mobili. I dati portano a concludere che la degradazione della molecola di cellulosa inizia a dosi maggiori di 10 kGy.

In un altro lavoro (Baccaro *et al.*, 2013) è stato approfondito lo studio delle modifiche strutturali indotte dall'irraggiamento gamma sulla cellulosa ed è stata trovata un'ulteriore correlazione con le misure NMR già descritte. La caratterizzazione del sistema è stata effettuata mediante l'impiego di analisi termiche (TG-DTG) e spettroscopia infrarossa (FTIR e ATR-FTIR). Nonostante gli irraggiamenti siano stati condotti fino a dosi assorbite molto elevate (1000 kGy), un'attenzione particolare è stata dedicata all'intervallo di dosi assorbita compreso fra 0 e 10 kGy di grande interesse per le applicazioni nel campo dei beni culturali. Come già accennato, l'irraggiamento gamma, a seconda delle dosi totali assorbite dal campione, può indurre due differenti fenomeni: il primo, predominante a basse dosi (<10 kGy), consiste nella formazione di nuovi legami tra le catene della cellulosa dando luogo ad una struttura più compatta ed è usualmente indicato come *crosslinking*, il secondo, sempre più evidente all'aumentare della dose assorbita (>10 kGy), induce una vera e propria degradazione della struttura con rottura di legami chimici intramolecolari (per esempio il legame glucosidico) e conseguente frammentazione del *network* polimerico.

Dai risultati ottenuti, è stato possibile ipotizzare la formazione (a dosi <10 kGy) di una sorta di “gabbia”, dovuta alla formazione di legami inter- ed intra-molecolari, in cui è possibile individuare una certa quantità di acqua intrappolata. All’aumentare delle dosi invece la struttura tende via via a disgregarsi e aumenta considerevolmente la quantità di acqua adsorbita all’interfaccia dei vari domini amorfi e cristallini della cellulosa, dovuta alla crescente polarità della superficie (es. presenza di gruppi C=O).

Infine, un risultato molto interessante riguarda la misura della cristallinità della cellulosa (in termini di *Lateral Crystallinity Index*, LCI): si è osservato che, rispetto al campione non sottoposto ad irraggiamento, aumenta la cristallinità fino a raggiungere un massimo a circa 4kGy. A dosi assorbite maggiori, il valore risulta di nuovo paragonabile al campione non irraggiato.

4.2 Metodi chimici

4.2.1 Gli insetticidi

Un biocida è una sostanza inorganica o organica, ricavata dalla natura o sintetizzata in laboratorio, formulata in modo tale che i principi attivi, in essa contenuti, possano esplicare la massima azione tossica, caustica, o comunque incompatibile con la vita degli organismi bersaglio; in relazione con questi ultimi, si distinguono in insetticidi e acaricidi se sono rivolti contro gli artropodi e in fungicidi e battericidi se usati per combattere i microrganismi. Mentre la sostanza base costituisce il principio attivo del biocida, la formulazione è la forma in cui esso viene commercializzato ed è caratterizzata da una frazione aggiuntiva. Quest’ultima può essere composta da diluenti, emulsionanti e vettori meccanici che hanno la funzione rispettivamente di permettere o di facilitare la diluizione, di ottenere concentrazioni più facilmente manipolabili e sicure all’impiego, di assicurare il trasporto e la distribuzione del prodotto e infine di favorire il contatto con le superfici da trattare.

I prodotti presenti in commercio differiscono molto sia in termini di tossicità che di rischio grazie alla grande variabilità delle caratteristiche tossicologiche dei principi attivi contenuti e alle molteplici formulazioni poste in commercio: concentrati emulsionabili, sospensioni concentrate, sospensioni microincapsulate, microemulsioni acquose ecc. La tossicità (valutata in condizioni sperimentali) è la capacità di un prodotto di provocare effetti dannosi sugli organismi viventi quando supera una data concentrazione in relazione anche alla modalità con cui avviene l’esposizione (inalazione, ingestione, contatto) mentre il rischio indica il pericolo di avvelenamento quando tale sostanza viene utilizzata.

L’uso di sostanze organiche di sintesi è stato ed è la forma di lotta più utilizzata per debellare gli infestanti. Considerati prodotti velenosi, se ne raccomanda un uso razionale in quanto un impiego indiscriminato e non necessario potrebbe pregiudicare non solo il futuro del bene trattato ma rappresentare anche un notevole rischio per la salute dell’uomo e dell’ambiente. Per tale motivo verso la fine degli anni ’90 l’Unione europea ha sentito la necessità di definire un quadro normativo che armonizzasse le varie disposizioni nazionali inerenti i prodotti ad azione biocida e che contemporaneamente fosse volto a garantire un elevato livello di protezione dell’uomo, degli animali e dell’ambiente.

La Direttiva 98/8/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 febbraio 1998, relativa all’immissione sul mercato dei biocidi, ha costituito quindi il modello di riferimento per l’autorizzazione e l’immissione sul mercato dei biocidi, per il riconoscimento reciproco delle autorizzazioni all’interno della Comunità e per l’elenco dei principi attivi

impiegati. La stessa Direttiva definisce nell'articolo n. 2 i biocidi come: "i principi attivi e i preparati contenenti uno o più principi attivi, presentati nella forma in cui sono consegnati all'utilizzatore, destinati a distruggere, eliminare, rendere innocui, impedire l'azione o esercitare altro effetto di controllo su qualsiasi organismo nocivo con mezzi chimici o biologici". Nell'Allegato V vengono elencati anche quelli utilizzati per la protezione dei Beni culturali. La Direttiva 98/8/CE, recepita in Italia con D.Lgs 25 febbraio 2000, n. 174, è stata abrogata 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.

I prodotti chimici utilizzati 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). Nel rispetto della salute umana e dell'ambiente, ogni biocida possiede una propria scheda tecnica di sicurezza che ne illustra le caratteristiche e, inoltre, nella rispettiva etichetta commerciale sono visibili le frasi di rischio e i consigli di prudenza espressi secondo diciture comuni in tutta l'Unione europea.

L'Europa, per la classificazione delle sostanze chimiche e delle loro miscele, si attiene al sistema mondiale armonizzato delle Nazioni Unite (GHS - Globally Harmonized System). Questo sistema obbliga a classificare i prodotti in funzione delle loro proprietà pericolose e prescrive il pittogramma e le altre indicazioni da includere nell'etichetta. L'Unione europea ha voluto rendere obbligatorie tali regole e raccomandazioni internazionali integrandole nel diritto comunitario adottando il Regolamento 1272/2008/UE (CLP - Classification, Labeling and Packaging) del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele. Il "Regolamento CLP" modifica e abroga le Direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e reca modifiche al Regolamento (CE) n. 1907/2006 (Europa-Eu, 2011, 2014). Esso norma la classificazione, l'imballaggio e l'etichettatura delle sostanze chimiche e delle loro miscele in funzione delle loro proprietà chimico-fisiche, tossicologiche ed ecotossicologiche e la loro successiva etichettatura per permetterne l'immissione in tutto il mercato europeo. Il "Regolamento CLP" è stato modificato nel suo Allegato VI dal Regolamento (UE) n. 758/2013 della Commissione del 7 agosto 2013 e, in maniera più sostanziale, dal Regolamento (UE) n. 487/2013 della Commissione dell'8 maggio 2013 e dal Regolamento (UE) n. 944/2013 della Commissione del 2 ottobre 2013, entrambi recanti modifiche ai fini dell'adeguamento al progresso tecnico e scientifico.

Per un impiego corretto e sicuro del biocida si consiglia, quindi, di leggere attentamente il contenuto dell'etichetta presente nel formulato commerciale in ragione del fatto che i biocidi vengono messi in vendita con nomi "commerciali" che non danno alcuna indicazione sulla natura chimica del prodotto e spesso a nomi commerciali diversi corrispondono gli stessi principi attivi. Premesso che l'identificazione dell'agente infestante sia propedeutico alla scelta di un metodo di lotta, in riferimento alla selezione del biocida risulta necessario prendere in considerazione anche altri elementi. Esso deve avere un ampio spettro d'azione, ossia deve essere efficace contro il maggior numero di organismi, deve essere attivo contro gli agenti microbiologici ed entomologici contemporaneamente e, soprattutto, sulle forme quiescenti e resistenti come le spore fungine o le uova di insetti. Inoltre, deve avere un'alta capacità di penetrazione per garantire la disinfezione/disinfestazione anche nelle parti più interne del manufatto e, contestualmente, possedere con quest'ultimo bassa reattività. La sua azione deve persistere nel tempo e non avere effetto tossico né sull'uomo, né sull'ambiente (Caneva *et al.*, 2005).

L'efficienza di un prodotto non dipende solo dalla quantità impiegata e dalla persistenza nel tempo ma anche da altri fattori che possono influenzarne l'efficacia (Caneva *et al.*, 1996). Quando si effettua un trattamento con insetticida si consiglia di tenere una documentazione dettagliata annotando sempre i seguenti punti (Dawson, 1988):

- insetto da trattare;
- nome commerciale e produttore dell'insetticida;
- concentrazione del principio attivo e solventi utilizzati;
- metodo di applicazione e procedure previste per i controlli successivi;
- operatore e data del trattamento;
- condizioni ambientali (T, U.R. ecc.);
- luogo dell'applicazione;
- coinvolgimento dell'oggetto e breve descrizione del suo stato conservativo prima del trattamento;
- modifiche o alterazioni visibili dell'oggetto dopo il contatto con l'insetticida;
- problematiche di salute riferite dagli operatori (imputabili al prodotto applicato);
- verifica dell'effetto del trattamento nel tempo.

I biocidi vengono divisi in categorie in relazione al meccanismo d'azione e al loro stato fisico. I comuni trattamenti chimici possono agire "per contatto" (cioè l'efficacia si manifesta quando la superficie corporea dell'insetto entra in contatto anche parzialmente con il principio attivo), "per ingestione" (come ad esempio avviene nelle esche) e "per asfissia" (quando l'azione del principio attivo interessa l'apparato respiratorio). Per quanto riguarda lo stato fisico, gli insetticidi sono disponibili in diverse formulazioni: concentrati emulsionabili, polveri bagnabili, polveri secche, granuli, aerosol ecc. Tuttavia, nonostante la varietà delle formulazioni e la disponibilità di diversi metodi e dispositivi applicativi, i biocidi raggiungono difficilmente l'insetto bersaglio, essendo la maggior parte degli artropodi di piccole dimensioni. Si stima che l'efficienza di tali sostanze si attesti al di sotto dell'1% e che i grandi quantitativi utilizzati per garantire la morte degli infestanti hanno effetto negativo anche su quelli non bersaglio, sull'ambiente, sull'uomo e in particolare sugli operatori coinvolti negli interventi (Thacker, 2002). Durante gli ultimi anni molto lavoro è stato svolto a livello europeo per la messa al bando delle sostanze più obsolete e potenzialmente più pericolose; di conseguenza anche gli insetticidi sono stati messi sotto osservazione e varie leggi e direttive sono state emanate al fine di limitare l'uso e il dosaggio di molti principi attivi con lo scopo di proteggere la salute delle persone e dell'ambiente. Al riguardo si citano ad esempio alcuni eventi le cui proposte sono state adottate a livello internazionale:

- il Protocollo di Montreal (riduzione in termini qualitativi e quantitativi delle sostanze che minacciano lo strato di ozono) reso operativo dalla UE nel 1994 con il Regolamento CE 3093/94 e successivamente sostituito dal Regolamento 2037/00;
- la Convenzione di Rotterdam del 1998 (disciplina le esportazioni e importazioni di alcune sostanze chimiche e pesticidi pericolosi, basandosi sul principio fondamentale del previo assenso informato, ossia prevede disposizioni che esigono informazioni particolareggiate sui prodotti affinché si possa decidere dopo aver preso conoscenza delle proprietà e degli effetti dei prodotti in particolare sulla salute umana e sull'ambiente) attuata all'interno dell'Unione europea con il Regolamento (CE) n. 689/2008 ma che, a decorrere dal 1° marzo 2014 è stato sostituito dal Regolamento (UE) n. 649/2012 del Parlamento europeo e del Consiglio del 4 luglio 2012;
- la Convenzione di Stoccolma (sugli inquinanti organici persistenti - POP, ha come obiettivo l'eliminazione e la diminuzione della produzione nonché dell'uso di tali sostanze nocive alla salute umana e all'ambiente; essa definisce, oltre le sostanze interessate, anche le norme relative alla loro produzione, importazione ed esporta-

zione) le cui disposizioni sono state recepite nella legislazione dell'Unione europea dal Regolamento (CE) n. 850/2004 del Parlamento europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 e con decisione del Consiglio europeo 2006/507/CE del 14 ottobre 2004. La convenzione, attualmente incentrata su dodici POP prioritari [aldrin, clordano, diclorodifeniltricloroetano (DDT), dieldrin, endrin, eptacloro, mirex, toxafene, policlorurati (PCB), esaclorobenzene, diossine e furani], intende estendersi, in futuro, anche ad altre sostanze.

La rinnovata e grande attenzione volta a livello internazionale verso il rispetto della salute umana e ambientale, impone normative sempre più severe e stringenti all'uso di sostanze e preparati biocidi. Nell'ambito della CE si prevedono ulteriori restrizioni all'uso di alcuni principi attivi contenuti nei biocidi come indicato nella "Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo all'immissione sul mercato e all'uso dei biocidi" - COM (2009) 267 del 12 giugno 2009 e successive modifiche COM (2011) n. 498 e COM (2012) n. 135.

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. Si sta diffondendo un quinto gruppo, quello dei neonicotinoidi, così chiamati perché il loro sviluppo si basa sulla struttura chimica dell'alcaloide nicotina (Thacker, 2002).

La maggior parte degli insetticidi esplica un'azione neurotossica interferendo sulla trasmissione dell'impulso nervoso lungo l'assone del neurone oppure a livello delle sinapsi. In situazioni normali, nel primo caso, l'impulso viene trasmesso a seguito della variazione del potenziale elettrico dovuto alla temporanea depolarizzazione della membrana cellulare del neurone (sotto un valore critico) la cui permeabilità consente il passaggio di ioni Na^+ e K^+ dall'interno all'esterno e viceversa. Nel secondo caso, invece, la trasmissione dell'impulso nervoso è legata all'attività di neurotrasmettitori chimici come l'acetilcolina che è in grado di stimolare i recettori proteici (di tipo nicotinico e muscarinico) collocati nella membrana delle terminazioni postsinaptiche. Le molecole di acetilcolina, liberate in risposta a un potenziale d'azione, si fissano sui siti di legame presenti nei recettori nicotinici stimolando il passaggio degli ioni Na^+ e K^+ nei due sensi con conseguente variazione del potenziale elettrico della membrana postsinaptica. La chiusura del canale ionico viene poi determinata dall'azione dell'enzima acetilcolinesterasi che idrolizza le molecole di acetilcolina fissate sui recettori.

Gli insetticidi hanno come bersaglio il sistema nervoso e la sostanziale analogia che gli insetti e i vertebrati mostrano nei meccanismi di trasmissione dell'impulso nervoso rende tali sostanze nocive anche per l'uomo. In particolare gli organofosforati e i carbammati agiscono a livello sinaptico, legandosi con l'enzima acetilcolinesterasi, impediscono l'idrolisi dell'acetilcolina che, accumulandosi nello spazio intersinaptico, blocca la trasmissione dell'impulso nervoso e di conseguenza la membrana postsinaptica rimane in uno stato continuo di eccitazione.

I neonicotinoidi, pur agendo a livello delle sinapsi, non svolgono attività antiacetilcolinesterasica ma si comportano come mimetici o agonisti dell'acetilcolina. Sostituendosi a quest'ultima si legano in modo permanente con i recettori nicotinici postsinaptici provocando l'apertura permanente dei canali ionici, generando una condizione di eccitazione permanente della membrana postsinaptica. I piretroidi e gli organoclorurati agiscono a livello della membrana dell'assone determinando l'apertura permanente dei canali dell' Na^+ e quindi la depolarizzazione continua della membrana.

I sintomi di avvelenamento da insetticidi sono simili e includono tremori, convulsioni, paralisi e morte (Pollini, 1998).

Organoclorurati (clororganici). Così denominati perché oltre al carbonio contengono nella loro molecola il cloro, sono stati usati intensivamente per decine di anni; caratteristiche comuni a tutti sono l'elevata persistenza ambientale e la capacità di bioaccumulo lungo le catene alimentari con effetti neurotossici ben documentati sugli organismi. Altamente tossici, sono definiti inquinanti organici persistenti (POP) in quanto poco degradabili, si propagano nell'aria, nell'acqua e nel terreno. I principali sono di seguito elencati.

Easclorobenzene (HCB). Introdotto per la prima volta nel 1945, è stato a lungo usato nel settore agricolo principalmente come fungicida nell'immagazzinamento dei cereali, fino al 1981 quando la Comunità europea ne ha bandito l'uso. Attualmente la quantità più significativa di HCB viene immessa nell'ambiente quale sottoprodotto di alcuni processi industriali, come scorie durante la produzione di alcuni pesticidi e l'incenerimento dei rifiuti urbani.

Diclorodifeniltricloroetano (DDT). Il suo utilizzo ha raggiunto l'apice nella seconda guerra mondiale quando è stato impiegato abbondantemente per il controllo dei vettori della malaria, del tifo, del colera, della febbre gialla, della malattia del sonno e nella protezione dei raccolti. Le norme sull'impiego del DDT come pesticida sono diventate estremamente restrittive dal 1981 e dal 1986 l'uso di questo prodotto è vietato nell'UE. Pur essendo bandito nella maggior parte dei paesi del mondo, il DDT continua a essere usato per il controllo dei vettori, soprattutto nelle zone colpite da malaria endemica; un uso più esteso è stato raccomandato di recente anche dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per la lotta alla malaria, vista la recrudescenza dei casi (Istituto Superiore di Sanità, 2012).

Lindano. Risulta ancora ampiamente utilizzato in agricoltura e per il controllo di patogeni per la salute pubblica e di ectoparassiti di animali soprattutto nei paesi in via di sviluppo. In Europa ne è vietato l'uso.

Ciclopentadieni clorurati. Principali in termini di importanza commerciale sono: aldrin, dieldrin, eptacloro, clordano ed endosolfano. Tali composti sono stati impiegati per controllare gli insetti del suolo, le formiche, le blatte, le termiti, le cavallette, le locuste ecc. Altamente tossici per i mammiferi (aumentano la tossicità con l'aumento della temperatura ambientale), presentano una solubilità estremamente bassa nell'acqua ma elevata nei grassi. Immessi nel mercato intorno al 1950, nella maggior parte dei Paesi europei occidentali l'uso di quasi tutti questi composti è stato ormai bandito (rientrano nella Convenzione di Stoccolma). La messa al bando dei ciclopentadieni clorurati è stata giudicata prioritaria anche dal Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP) e dopo la V Conferenza delle Parti (COP) che si è tenuta a Ginevra nel 2011, anche l'endosolfano è entrato a far parte della lista, venendo di fatto bandito a livello globale con il Regolamento UE n.519/2012 della Commissione del 19 giugno 2012.

Organofosforati (fosfororganici). Derivati dall'acido fosforico, a differenza degli organoclorurati, sono composti caratterizzati da breve persistenza ma da tossicità acuta maggiore per i mammiferi. L'inalazione, l'ingestione o l'assorbimento cutaneo di queste sostanze può causare gravi intossicazioni acute. Si concentrano nei tessuti adiposi ma, a differenza degli organoclorurati, si decompongono nel giro di pochi giorni o settimane, quindi raramente sono reperibili nelle catene alimentari. Neutralizzano gli insetti agendo sul sistema nervoso. Esistono circa 100 principi attivi disponibili in migliaia di differenti formulazioni. Questo fa degli organofosforati il tipo di insetticida più sviluppato in assoluto. Si dividono in tre sottogruppi: composti alifatici (per esempio diclorvos, malatione), composti fenolici - più stabili dei precedenti - (per esempio paratione metile, fenitrotione, fentione) e composti eterociclici (per esempio diazinone, azinfosmetile, clorpirifos) (Thacker, 2002).

A causa dell'elevata tossicità questi prodotti sono soggetti a continua revisione e ad una accurata valutazione tecnico-scientifica per confermarne l'utilizzo o la messa al bando dal mercato, anche perché possono essere sostituiti da alternative meno tossiche come i carbammati o i piretroidi sintetici.

Carbammati. Introdotti come insetticidi nel 1956, utilizzano circa 30 differenti principi attivi e sono derivati dell'acido carbammico (H_2NCOOH). Sono caratterizzati da una breve permanenza nell'ambiente, reagiscono con l'acqua scomponendosi in prodotti semplici e privi di tossicità ma, quando sono ancora nella forma attiva, risultano altamente dannosi per l'uomo e gli animali esplicando un'azione neurotossica. Chimicamente si dividono in tre sottogruppi: alifatici (per esempio aldicarb, aldoxicarb), carbociclici (per esempio propoxur, metiocarb) ed eterociclici (per esempio carbofurano, pirimicarb).

Piretroidi. Includono i principi attivi che sfruttano l'effetto insetticida di alcune sostanze naturali derivanti dai fiori di alcune piante del genere *Chrysanthemum* e in particolare dal *Chrysanthemum cinerariifolium* della famiglia delle Asteraceae. Esistono circa 30 principi attivi con azione neurotossica. I piretroidi sintetici, derivati della piretrina, oltre ad essere fotostabili e meno costosi rispetto a quelli naturali, risultano più tossici per gli insetti e se ne possono utilizzare, quindi, quantità minori; non lasciano residui pericolosi. Sono divisi in due sottogruppi: il tipo I diventa meno tossico all'aumento della temperatura ambientale (tetrametina), mentre il tipo II diventa più tossico (fenvalerato, fluvalinato). Poco pericolosi per mammiferi e uccelli, vengono rapidamente metabolizzati in prodotti atossici e non danno origine a fenomeni di accumulo, anche se alcuni piretroidi sintetici (cipermetrina) possono causare reazioni allergiche. A base di piretro o di piretroidi di sintesi (permetrina, cipermetrina, deltametrina, ciflutrina ecc.) sono gli impregnanti raffinati antitarlo, atossici per l'uomo ma neurotossici per questi insetti che, al momento dello sfarfallamento per ingestione dell'ultimo strato di legno imbibito dal liquido, muoiono per blocco della respirazione. Con tali insetticidi è possibile prevenire anche nuove infestazioni, poiché le larve, che dopo la schiusa iniziano a scavare verso l'interno, si nutriranno anch'esse di legno impregnato del principio attivo.

Neonicotinoidi. Rappresentano gli insetticidi sintetici di ultima generazione, così chiamati perché il loro sviluppo è stato basato sulla struttura chimica dell'alcaloide nicotina. Sono disponibili in numerose formulazioni e sono quelli attualmente di maggior impiego. I principali risultano imidacloprid, nitenpiram, acetamiprid e tiametoxan tutti con effetto neurotossico per gli insetti. A differenza dei piretroidi la cui azione si esplica generalmente per contatto, i neonicotinoidi agiscono prevalentemente per ingestione.

Altri tipi di insetticidi sono stati sviluppati e sono classificati come amidine, benzilati, piretroidi non esteri, fenilpirazoli di cui fa parte il fipronil utilizzato per la lotta alle blatte e alle termiti (Thacker, 2002). L'uso indiscriminato e non necessario di sostanze biocide, oltre a risultare dannoso per la salute dell'uomo e dell'ambiente, può mettere a repentaglio il futuro dei beni trattati. Bisogna considerare infatti che gli insetticidi nelle loro formulazioni contengono, oltre al principio attivo, altri ingredienti (come solventi, composti carrier, emulsionanti, additivi ecc.), potenzialmente in grado di nuocere ai manufatti interferendo, anche a lungo termine, con i diversi materiali costitutivi. Non di secondaria importanza la possibilità di interazione con altri prodotti usati in precedenza o nelle fasi successive di restauro. In tale ottica, risulta di fondamentale importanza fare riferimento alle schede tecniche del prodotto che si intende utilizzare per ottenere informazioni utili allo scopo di prevenire o di risolvere problemi di incompatibilità tra formulazioni e/o di eventuali effetti secondari nonché di rischio biologico.

L'assenza di interferenza con il materiale è il requisito principale che viene richiesto ad un insetticida ma, purtroppo, i risultati ottenuti da studi condotti in merito, riportano danni al materiale come ad esempio sbiadimento di alcuni coloranti, indebolimento e ingiallimento della carta, rammollimento di resine e nitrati di cellulosa, ossidazione di eventuali metalli (Dawson, 1988). Talvolta si registrano effetti macroscopici come macchie, o anche reazioni irreversibili quali corrosioni, ossidazioni, solubilizzazioni e infine la permanenza di odori sgradevoli (Caneva *et al.*, 2005).

4.2.2 La risposta biologica degli artropodi alla lotta chimica

Un breve cenno va annotato sulla potenziale capacità che gli artropodi hanno di sviluppare resistenza alle sostanze tossiche. Durante l'uso di un biocida si può verificare infatti una progressiva diminuzione della sua efficacia tanto da portare all'impossibilità di controllare una data specie infestante. Tale pressione selettiva può favorire la sopravvivenza di esemplari portatori di uno specifico corredo genetico in grado di tollerare dosi di sostanza tossica generalmente letale per la maggior parte degli individui di una stessa popolazione normalmente sensibile. Questa proprietà, denominata resistenza fisiologica, essendo ereditaria, viene trasmessa alla progenie e più le generazioni si susseguono velocemente maggiore è la probabilità che si selezionino intere popolazioni di organismi in grado di annullare del tutto o in parte l'azione tossica del biocida. La resistenza si sviluppa più rapidamente con l'uso di prodotti a lunga persistenza piuttosto che con prodotti ad effetto immediato; la lenta degradazione favorisce infatti non solo la presenza di una vasta gamma di dosi sub-letali ma impedisce l'ibridazione di individui sensibili con individui resistenti sopravvissuti al trattamento favorendo la nascita di una progenie con alte frequenze dei geni della resistenza.

Il problema sembra nascere dal fatto che gli insetticidi in uso hanno un meccanismo d'azione molto simile tra loro e per una specie, resistente a un singolo composto, risulta relativamente semplice sviluppare la resistenza a più prodotti o persino nei confronti di sostanze con le quali non è mai stata in contatto anche se appartenenti ad altre classi di biocidi (resistenza crociata). In generale il fenomeno della resistenza è regolato da uno o più geni preposti a particolari meccanismi di difesa nei confronti delle sostanze tossiche. Tra questi ricordiamo le modifiche morfologiche della permeabilità epicuticolare, l'aumento della capacità di eliminazione di molecole tossiche, la modifica delle attività enzimatiche ecc. (Thacker, 2002).

L'impiego di miscele biocide, modelli a mosaico o della rotazione frequente dei principi attivi o meglio ancora la riduzione quasi totale dei trattamenti chimici e l'adozione di azioni specifiche previste in un programma di lotta integrata mirato, possono aiutare al contenimento dello sviluppo di specie resistenti.

Da qui la sfida nel mettere a punto nuove molecole o formulazioni innovative di principi attivi noti con lo scopo di circoscrivere il campo d'azione solo alla specie *target* che si vuole debellare. Ci si riferisce a insetticidi a base di sostanze chimiche che, interferendo selettivamente con i processi fisiologici e con il comportamento biologico specifici degli artropodi, svolgono un'azione analoga a quella esplicata dalle sostanze ormonali prodotte naturalmente dagli stessi insetti. Di tali molecole chimiche, che per il loro bassissimo impatto ambientale sono definite biorazionali, fanno parte gli antiormoni, i feromoni e i prodotti che interferiscono con l'alimentazione. L'uso di queste sostanze viene generalmente associato a programmi di *Integrated Pest Management* (Trematerra & Pinniger, 2014) (vedi capitolo 5).

Gli antiormoni, chiamati anche regolatori di crescita, sono sostanze che interferiscono nei processi metabolici degli insetti impedendone il normale sviluppo. Altamente efficaci sugli stadi giovanili, con la sola eccezione dei Tisanuri, determinano un blocco allo stadio larvale, impedendo il completamento della muta. I regolatori della crescita di interesse applicativo per la lotta agli insetti infestanti, comprendono: gli ormoni giovanili, gli ormoni relativi alla muta e quelli inibitori della sintesi della chitina. Degli ormoni giovanili si utilizza l'idroprene per il controllo dei Blattoidei, mentre la maggior parte (metoprene, piriproxifene, fenoxicarb), essendo sensibile alla luce e all'aria, trova applicazione solo per la lotta ai Ditteri vettori di patogeni per l'uomo e per gli animali domestici.

I composti chimici mediatori della muta più rappresentativi sono il tebufenozide, il metossifenozide e l'alofenozide; l'unico altro composto sviluppato commercialmente è l'azadiractina che viene estratta dall'albero del Neem (*Azadirachta indica*) della famiglia Meliaceae nativo dell'India e della Birmania.

Gli inibitori della sintesi della chitina sono, tra i regolatori di crescita, quelli ad aver riscosso maggior successo; essi interferiscono con la produzione della nuova cuticola dell'esoscheletro durante la muta per cui l'insetto, esposto a tali sostanze, muore per disidratazione, per denutrizione o perché predato. Esistono vari principi attivi, generalmente chiamati benzoilfenilureasi, di cui il più conosciuto è il diflubenzurone, noto commercialmente come Dimilin®.

I feromoni sono sostanze naturali attive, volatili, a basso peso molecolare, utilizzate a concentrazioni minime, che gli insetti emettono per comunicare tra di loro; si distinguono sostanzialmente in feromoni sessuali, di aggregazione e di allarme in risposta all'attacco di un predatore. A livello commerciale quelli più utilizzati sono i feromoni sessuali e di aggregazione. Il feromone, disperso nell'aria, viene recepito dal maschio o dalla femmina che risponde attraverso un processo denominato chemoanemotassi, movimento mediato da sostanze chimiche e dal vento. Il raggio d'azione dei feromoni varia da poche centinaia di metri a molti chilometri di distanza e la risposta è specie-specifica; sono usati con successo per il controllo di Coleotteri, Ditteri e Lepidotteri. Diverse centinaia di feromoni sono stati identificati, la maggior parte prodotti dai Lepidotteri, e oltre 50 possono essere impiegati per il controllo degli artropodi, ma soltanto una piccola parte è stata sviluppata a livello commerciale probabilmente a causa della scarsissima conoscenza delle modalità del loro rilascio, del sistema di comunicazione degli insetti e della mancanza di investimenti per lo sviluppo di tali prodotti.

I feromoni vengono generalmente utilizzati per studi sul monitoraggio degli infestanti presenti, al fine di realizzare programmi di catture massali quando sono ampiamente dispersi in un ambiente, per disturbare o comunque interagire negativamente con gli accoppiamenti (confusione sessuale) e in associazione con esche avvelenate (Maini, 2007; Trematerra, 2012). Poiché sono composti volatili, specifiche formulazioni sono state ideate per il rilascio controllato; i principali dispositivi sviluppati negli ultimi anni (fibre plastiche, microcapsule, fiocchi in laminato e setti di gomma) sono stati progettati in maniera tale da impedire la rapida evaporazione del prodotto e da regolarne l'uniformità della diffusione e il tempo di azione.

4.2.3 Le sostanze repellenti

Tra le sostanze risultanti repellenti per gli insetti troviamo la naftalina, il paradichlorobenzene e la canfora. Poiché gli effetti tossici a lungo termine nei confronti dell'uomo destano notevole preoccupazione, non si esclude la possibilità che tali prodotti vengano al più presto ritirati dal mercato.

Pericolosi anche per i materiali con cui vengono in contatto, possono provocare danni a resine, gomme, vernici e alle pitture (Dawson, 1988; Trematerra & Pinniger, 2014). È possibile ricavare sostanze repellenti dal mondo vegetale come ad esempio l'olio di lavanda e l'olio di cedro; altre sostanze sono state riconsiderate e potrebbero avere un ruolo futuro anche se va ricordato che molte molecole di origine vegetale sono tossiche e alcuni componenti degli oli possono risultare dannosi per molti beni. Si cita come esempio il linalool che riduce il valore del pH della carta e determina l'ossidazione nelle fotografie (gelatine ai sali d'argento), le quali manifestano conseguentemente alterazione della densità ottica. Inoltre, i composti ossidati del linalool (che si ossida per semplice esposizione all'aria) possono causare nell'uomo dermatiti da contatto (Sequeira *et al.*, 2012).

4.2.4 Le sostanze gassose

La scelta delle sostanze chimiche da utilizzare dipende, come accennato, dal tipo di organismo da combattere, ad esempio i prodotti solidi sono principalmente impiegati nella lotta agli insetti striscianti (quali Tisanuri - Lepismatidi) e ai roditori, mentre i formulati liquidi trovano impiego nella lotta agli insetti xilofagi (quali gli Anobidi).

Nell'ambito della conservazione di materiale archivistico, però, i prodotti più comunemente utilizzati sono quelli gassosi grazie alla maggiore uniformità di dispersione, alla alta capacità di penetrazione, all'ampio spettro di azione e a una minore reattività con i materiali. I gas sono estremamente tossici e il loro uso è possibile solo in autoclavi, camere di fumigazione o in altri ambienti purché perfettamente sigillati e il trattamento deve essere effettuato da personale altamente qualificato.

Generalmente le sostanze gassose utilizzate sono: il fluoruro di solforile, l'acido cianidrico, il timolo, l'aldeide formica e l'ossido di etilene. La scelta deve essere svolta essenzialmente in funzione non solo del tipo di biodeteriogeno presente e della sua diffusione, ma anche del substrato da trattare e dello stato di conservazione. Ogni gas, infatti, presenta dei limiti di applicazione perché danneggia i materiali con cui viene in contatto, ad esempio:

- il fluoruro di solforile danneggia la cellulosa, i materiali proteici, i colori e reagisce con i metalli (Sclocchi, 2002);
- l'acido cianidrico altera il colore e la lucentezza dei metalli, causa formazioni di odori residui nei materiali etnografici (Nugari *et al.*, 2005);
- il timolo determina l'ingiallimento della carta, il rammollimento dei cuoi e degli adesivi, la dissoluzione di inchiostri, pitture e vernici (Strassberg, 1978), induce effetti negativi sulle caratteristiche chimico-fisiche della carta da filtro (Flieder, 1965);
- l'aldeide formica danneggia i materiali proteici come pergamena e cuoio, diminuisce la flessibilità della carta, favorisce la corrosione degli inchiostri ferrogallici (Gallo, 1963; Valentin & Ortega, 1999) inoltre tende a polimerizzare e precipitare come sottile film biancastro;
- il paradichlorobenzolo provoca l'ingiallimento della carta, lo sbiadimento degli inchiostri e dei pigmenti dei cuoi (Sclocchi, 2002).

La fumigazione con ossido di etilene è il trattamento maggiormente utilizzato nell'ambito del patrimonio culturale perché, sebbene estremamente tossico per l'uomo e nocivo per l'ambiente, rispetto agli altri gas elencati, risulta essere l'unico a possedere tutte le caratteristiche richieste ad un buon biocida per trattamenti di massa nonostante abbia alcuni effetti negativi sui materiali.

4.2.4.a L'ossido di etilene

La fumigazione con ossido di etilene (ETO) è considerato il principale metodo di debio-tizzazione, giacché tale gas è attivo contro tutte le forme viventi comprese le spore microbiche e fungine. La sua azione biocida deriva dalla capacità di denaturare le proteine e gli acidi nucleici e degradare i componenti della membrana e della parete cellulare. L'ETO, etere ciclico con formula C_2H_4O , è stato scoperto nel 1859 ma solo successivamente, a partire dagli anni '20, si sono cominciate ad apprezzare le sue caratteristiche di agente sterilizzante. Viene principalmente utilizzato per trattare prodotti medici e farmaceutici, dispositivi con componenti elettronici, imballaggi di plastica o contenitori di plastica che non sono in grado di sopportare la tradizionale sterilizzazione con vapore ad alta temperatura.

Purtroppo i numerosi studi effettuati hanno dimostrato che si tratta di un fumigante estremamente pericoloso infatti, una esposizione cronica a questo gas può aumentare il rischio di leucemia, di tumore al cervello o in altre parti del corpo e generare alterazioni genetiche con possibili conseguenze sul sistema riproduttivo. Analogamente sono stati segnalati casi di problemi cutanei dovuti all'assorbimento tramite la pelle, di lesioni oculari e polmonari. Per la sua cancerogenicità, l'IARC (International Agency for Research on Cancer) lo ha classificato cancerogeno di categoria 1 (IARC, 2008). Alla luce di tali continue scoperte, questo gas è sottoposto a normative sempre più severe e ne viene consentito l'uso solo a personale altamente specializzato e in possesso delle necessarie autorizzazioni.

In Italia l'ETO è incluso nella Legislazione dei gas tossici; la sua detenzione e il suo utilizzo sono regolamentati sostanzialmente dal R.D. 9 gennaio 1927 n. 147 emanato in applicazione del T.U. delle Leggi di Pubblica Sicurezza (R.D. 6 novembre 1926, n. 1848) e dalla Circolare n. 56/83 del Ministero della Salute che fissa le norme di impiego, i requisiti delle attrezzature, dei locali e del personale (necessario un opportuno patentino), le tecniche di controllo e infine i limiti residui massimi accettabili di gas negli oggetti trattati (non superiore ai 2 ppm). Nel tempo, a causa dell'attenzione sempre maggiore rivolta ai lavoratori, si sono susseguiti una serie di aggiornamenti e integrazioni in materia di miglioramento della sicurezza e della salute durante le attività lavorative come ad esempio il D.Lgs. 626/1994, il D.Lgs. 2 febbraio 2002 n. 25 che recepisce la Direttiva 98/24/CE (sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro) e il D.Lgs. 81/2008 (Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro) e successive modifiche. Nell'ambito della Comunità europea tale gas figura nell'Allegato III della Convenzione di Rotterdam (che elenca pesticidi e prodotti chimici che sono stati banditi o che hanno subito rigorose restrizioni); nell'Allegato II (prodotti inclusi nel programma di riesame) del regolamento CE 1451/2007 concernente la seconda fase del programma di lavoro decennale previsto dalla direttiva 98/8/CE relativa all'immissione sul mercato dei biocidi e ora modificato dal Regolamento UE n. 298/2010 del 9 aprile 2010; nell'Allegato I (elenco delle sostanze chimiche soggette all'obbligo di notifica di esportazione) del Regolamento CE n. 689/2008 del 17 giugno 2008 inerente l'esportazione e importazione di sostanze chimiche pericolose, modificato dalla Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio COM (2011) 245 del 5 maggio 2011.

Mentre in campo alimentare il Regolamento UE della Commissione n. 231/2012 del 9 marzo 2012 ne proibisce l'uso per la sterilizzazione di additivi alimentari, nell'ambito dei beni culturali invece non sono state emanate direttive di tipo ostativo.

Essendo un gas altamente infiammabile ed esplosivo, non può essere utilizzato tale quale ma deve essere miscelato opportunamente con gas inerti; di solito si usa l'anidride carbonica (90% di CO_2 e 10% di ETO) o il diclorofluorometano (88% dicloro-

fluorometano e 12% ETO) (Sequeira *et al.*, 2012). Il trattamento va effettuato rigorosamente in autoclave ad una pressione leggermente inferiore a quella atmosferica ambientale per evitare la possibilità di fuoriuscita della miscela gassosa e ovviare quindi agli effetti tossici dell'ossido di etilene. Si possono utilizzare autoclavi fisse o mobili e per quest'ultime è previsto che operino in zone, con un'area di rispetto del raggio di venti metri, previa autorizzazione delle autorità competenti.

Oltre alla concentrazione del gas, per un valido trattamento, occorre monitorare anche i seguenti parametri: umidità relativa, temperatura del trattamento e tempo di esposizione del materiale. L'umidità relativa deve essere compresa tra 55-60% in quanto valori inferiori consentono il rallentamento dell'attività vitale dei microorganismi e in particolare le spore, meno idratate, diventano sensibilmente più resistenti (Borick, 1968; Russell, 2004) mentre umidità troppo alte favoriscono l'idrolisi dell'ETO dando origine al composto glicole etilenico tossico per l'uomo (Montanari, 2007). Anche il contenuto di acqua del materiale influenza la riuscita del trattamento, valori eccedenti il 10% impediscono al gas di penetrare e di svolgere la sua azione sterilizzante (Gallo, 1984-1985). La temperatura di esercizio deve essere compresa tra i 20 °C e i 30 °C (anche se si può arrivare a 35 °C) poiché valori inferiori non garantiscono una buona attività del gas e valori superiori potrebbero danneggiare i supporti cartacei. L'effetto biocida del gas è, inoltre, correlato alle condizioni termiche adottate, aumentando di 10 °C la temperatura, l'efficacia del processo viene raddoppiata mentre i tempi dello stesso si dimezzano (Flieder, 2002). La durata del trattamento, che generalmente varia dalle 3 alle 24 ore, oltre ad essere inversamente proporzionale alla concentrazione del gas in miscela (meno questo è concentrato e più il tempo di esposizione diventa lungo) dipende anche dal tipo di biodeteriogeno presente: ad esempio l'eliminazione di microfunghi richiede un tempo di esposizione doppio rispetto a quello necessario per la eradicazione degli insetti (Strassberg, 1978).

La scelta della concentrazione del gas viene, invece, determinata dalla natura e dallo stato di conservazione dei beni da trattare; infatti, beni delicati come libri miniati, dipinti su carta, materiale decoeso ecc., non sopportando condizioni di vuoto spinto, impongono l'uso di una concentrazione minore di gas in autoclave (Montanari, 2007). La riuscita del trattamento non può prescindere da un'adeguata sistemazione del materiale all'interno delle autoclavi in modo da garantire una buona circolazione dell'ETO in tutte le zone della camera di fumigazione; in caso si dovessero utilizzare involucri o contenitori di un certo spessore, è bene predisporre dei fori al fine di permettere la diffusione della miscela gassosa all'interno delle confezioni stesse.

Ultimato il ciclo di fumigazione, il gas viene evacuato ma, non potendo essere disperso nell'ambiente, varie metodiche sono state messe a punto per controllarne l'immissione in atmosfera. La meno costosa e di più facile impiego consiste nel trasformare, mediante soluzioni acquose, l'ETO in glicole etilenico che viene smaltito poi come rifiuto speciale. Un'altra tecnica prevede invece l'adsorbimento del gas mediante carboni attivi. Queste sostanze, inerti chimicamente, derivano da elementi naturali come gusci di noci di cocco o prodotti a base di legno e per la loro particolare struttura porosa sviluppano un'ampissima area di superficie atta all'adsorbimento di molecole liquide o gassose in relazione alla grandezza e al peso molecolare. Questo sistema, però, risulta costoso e applicabile solo per piccoli volumi e con basse concentrazioni di ETO in quanto tali assorbitori si saturano velocemente e devono essere poi smaltiti come rifiuti speciali pericolosi. Prima dell'apertura delle autoclavi, è necessario effettuare numerosi "lavaggi" (il numero varia in relazione al tipo di materiale trattato), una serie cioè di ricambi d'aria allo scopo di eliminare dai beni la maggior parte del gas e di alcuni suoi derivati come la cloridrina etilenica (prodotto dalla reazione con gli ioni cloro) e il gli-

cole etilenico (formato dalla reazione con l'umidità presente nei materiali) altamente tossici (Tateo & Bonomi, 2006; Mendes *et al.*, 2007).

Gli operatori responsabili del trattamento hanno l'obbligo di effettuare controlli periodici e di rilasciare debite certificazioni circa l'agibilità dei locali, una volta che il residuo del gas abbia raggiunto il valore di 2 ppm previsto dalla legge. Però vi è la tendenza ad allinearsi al valore più restrittivo di 1 ppm secondo lo standard stabilito dall'OSHA (Occupational Safety and Health Administration), agenzia del Dipartimento del lavoro degli Stati Uniti che opera con lo scopo di garantire la sicurezza sul luogo di lavoro.

L'efficacia del trattamento può essere verificata utilizzando indicatori chimici e biologici (entrambi introdotti direttamente in autoclave): i primi cambiano di colore entrando in contatto con il gas, mentre i secondi si basano sulla inattivazione delle spore di *Bacillus subtilis*, un batterio particolarmente resistente all'ossido di etilene. Dopo il trattamento le spore trattate e quelle di controllo vengono inoculate in opportuni terreni di coltura, la mancata germinazione delle spore fumigate è indice di un trattamento effettuato con successo.

Considerata l'elevata tossicità dell'ETO, è di fondamentale importanza aerare accuratamente i beni trattati altrimenti il loro uso e/o la loro manipolazione rappresentano un serio rischio per la salute degli operatori, delle persone che lavorano negli ambienti di conservazione e, in ragione delle esposizioni occasionali, anche dei fruitori.

È scientificamente dimostrato che durante la fumigazione, mentre la diffusione e l'accumulo del gas sulla superficie del materiale sono strettamente correlati alla composizione di quest'ultimo (adsorbimento), il suo rilascio (desorbimento) dipende invece anche dalla temperatura utilizzata durante il processo. L'impiego di condizioni termiche elevate, compatibilmente con i materiali da trattare, durante i cicli di lavaggio agevola, infatti, il rilascio del gas da parte dei beni. L'estrema variabilità della composizione dei manufatti ha stimolato la ricerca in tal senso tanto che è ormai nell'ottica comune consigliare un desorbimento più prolungato a scopo cautelativo.

Con particolare riferimento alle pellicole fotografiche, alcuni ricercatori hanno trovato, dopo 25 lavaggi, una concentrazione di 38 ppm di ETO (Hengemihle *et al.*, 1995). I materiali fotografici, infatti, sono tra quelli che hanno un livello di rilascio più lento rispetto ad altri supporti; in particolare una interessante ricerca effettuata da Hanus *et al.* (1999) ha dimostrato che le carte fotografiche baritate richiedono circa 7 giorni per raggiungere il limite minimo di 2 ppm mentre le carte RC (*resin coated*) hanno tempi ancora maggiori per la presenza di resine sintetiche. I materiali plastici risultano più adsorbenti probabilmente a causa della formazione di legami chimici persistenti che rendono il desorbimento più difficile e lento. Anche le pellicole in acetato di cellulosa e in poliestere hanno confermato la tendenza a trattenere più a lungo i residui del gas così come il vinile dei supporti sonori. È stato notato inoltre che i residui tendono a permanere anche su carta di nuova stampa, frammenti di legno, scatole e tubi di cartone, cuoio e pelli (Richardin & Bonassies, 1997), differentemente, Hanus (1998) ha riscontrato in diversi tipi di carta (Whatman, carta di cotone, carta a pasta chimica e meccanica) un tasso di ritenzione <1ppm.

Da quanto esposto, si deduce che i materiali organici non desorbono tutti alla stessa velocità e che è praticamente impossibile far desorbire completamente l'ETO dal materiale trattato. Poiché il desorbimento è correlato alla temperatura ambientale, è consigliabile sottoporre i beni a ventilazione forzata, alla temperatura di 30 °C in un ambiente individuato *ad hoc* dotato anche di estrattore d'aria per assorbire l'eccesso del gas. Si ritiene opportuno segnalare l'importanza di monitorare anche i livelli di ETO rientrati nei limiti a seguito dell'aerazione in quanto, a causa del continuo rilascio del gas da

parte dei materiali, tali valori possono subire un graduale aumento (soprattutto nelle aree di stoccaggio o nei contenitori).

Per i materiali archivistici e librari nei confronti dei quali fino a qualche tempo fa venivano effettuati non meno di 11-12 lavaggi (intervallati l'un l'altro di circa 30 minuti), più di recente, a scopo precauzionale, se ne consigliano almeno 20 (Montanari, 2007).

Nonostante il grande utilizzo, questo gas non è del tutto inerte per i beni interessati e numerosi lavori scientifici ne descrivono gli effetti negativi indotti. I risultati ottenuti da vari studi sperimentali dimostrano che tale biocida reagisce con i gruppi solfidrici di proteine e di altri polimeri e può indurre polimerizzazione e perdita di resistenza in carta, cotone e seta (Nugari *et al.*, 2005). Altre ricerche hanno messo in evidenza che i trattamenti con ETO possono diminuire nella carta la resistenza alla piegatura (40% circa), alzare il grado di ossidabilità (numero K) (4-19%), diminuire il grado di polimerizzazione (2-8%) e provocare un leggero ingiallimento (Flieder, 1965). Da altri autori è stato riportato un lieve decremento del pH della carta dopo la sterilizzazione con ETO (Ponce-Jimenez *et al.*, 2002), ed è stata anche riscontrata l'alchilazione delle proteine con modifica del punto isoelettrico e diminuzione della solubilità nelle soluzioni neutre e alcaline nonché la possibilità di reagire con vitamine, aminoacidi, alcoli e acidi grassi, acidi organici e inorganici, amine (Florian, 1988). Altri studi portano alla conclusione che tale gas può cambiare le proprietà chimico-fisiche della carta, della pergamena e del cuoio (Lindblom Patkus, 2014). È stata altresì documentata la perdita di adesività della gomma arabica e delle colle animali, dei leganti a base d'uovo (albumine) e di caseina (Barcellona *et al.*, 1978-79) nonché la possibilità che i materiali trattati possano invecchiare prematuramente e diventare più fragili (Hofenk de Graaf *et al.*, 1994). Inoltre alcuni ricercatori hanno dimostrato che i beni così fumigati risultano più suscettibili all'attacco di microfunghi (Valentin, 1986); la ragione di questo fenomeno non è ben conosciuta, ma nel caso della pergamena e del cuoio si pensa ad una reazione con le proteine del substrato che causa la formazione di microincapsulazioni protettive per le spore fungine (Kowalik, 1984; Craig, 1986). Diversamente, Florian (1993) sostiene che sia il glicole etilenico, sottoprodotto del trattamento con ETO, a comportarsi da attivatore delle spore contaminanti (eventualmente presenti nella fase di conservazione successiva al trattamento) per l'aumentata igroscopicità dell'oggetto.

A causa dell'alta tossicità e della scarsa conoscenza dei rischi a lungo termine legati al desorbimento, questo tipo di trattamento fumigante viene e sarà sempre meno utilizzato anche alla luce delle nuove disposizioni normative: la 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 il Decreto direttoriale del Ministero della Salute del 20 giugno 2012 che attua la decisione.

4.3 Controllo biologico

Spesso ci si chiede se sia possibile gestire gli insetti dannosi attraverso un controllo di tipo biologico. Attualmente questa via non sembra del tutto percorribile in quanto negli ambienti di conservazione *indoor* vige la norma tolleranza zero per gli infestanti e questo tipo di gestione, prevedendo per definizione la presenza di prede e antagonisti (predatori e parassitoidi), risulta del tutto inaccettabile nelle aree preposte alla custodia di collezioni. Alcuni antagonisti poi sono efficienti solo in presenza di alta densità di prede che devono essere sempre presenti per garantire la continuità del sistema. Non di secondaria importanza risulta l'evidente disagio ambientale cui dovrebbero sottostare le persone che a vario titolo frequenterebbero tali locali.

Le ricerche più avanzate nel settore della lotta biologica agli insetti sono limitate essenzialmente al settore agricolo e sanitario e si basano sull'utilizzo di microrganismi patogeni, ma gli elevati valori termoisometrici richiesti ne escludono a priori l'impiego negli ambienti di conservazione. A puro titolo informativo si cita la possibilità di utilizzare il batterio sporigeno *Bacillus thuringensis*, e i suoi numerosi ceppi ottenuti anche mediante biotecnologie, come insetticida delle larve di Lepidotteri, zanzare e altri insetti (Magaudda, 1994; Pinniger, 2001).

A differenza degli innumerevoli dati disponibili per il controllo biologico degli infestanti delle derrate alimentari, molto scarse o del tutto mancanti sono le informazioni inerenti i nemici naturali dei deterioranti presenti negli ambienti di conservazione. Sebbene se ne conoscano in parte i loro antagonisti, gli studi per avviare un potenziale controllo biologico sono stati limitati unicamente a: *Tineola bisselliella* con *Trichogramma* spp., *Tineola bisselliella* e *Tinea pellionella* con *Apanteles carpatius*, *Stegobium paniceum* e *Lasioderma serricornis* con *Lariophagus distinguendus*, *Anobium punctatum* con *Spathius exarator* (Trematerra & Pinniger, 2014).

4.4 Orientamenti per l'individuazione del trattamento

Con specifico riferimento alle collezioni fotografiche, è noto che trattasi di beni estremamente suscettibili al danno in quanto la grande varietà dei procedimenti fotografici, sviluppatasi nel corso degli anni, è stata caratterizzata dall'utilizzo di numerosissime tipologie di materiali, cui purtroppo corrisponde una vulnerabilità altrettanto ampia. Oltre ai supporti (carta, metallo, vetro, materie plastiche ecc.), ai leganti (albumina, gelatina, collodio ecc.) e alle sostanze fotosensibili, numerose fotografie presentano ulteriori elementi aggiuntivi (allo scopo di migliorare la qualità dell'immagine e/o per preservare le stampe dal deterioramento e dall'usura ma che rendono la struttura ulteriormente più complessa) come ad esempio viraggi, applicazioni di vernici, mascherature, coloriture e ritocchi. Proprio questa natura composita e stratigrafica, fa sì che il problema della conservazione delle fotografie differisca da quello delle altre opere su carta, sebbene in molte di esse venga utilizzato lo stesso supporto cartaceo (Matè & Sclocchi, 2014).

La profonda conoscenza da parte del conservatore della natura chimico-fisica dei materiali, dei procedimenti fotografici utilizzati, del supporto e degli eventuali componenti aggiuntivi è indispensabile quando si deve ricorrere ad un intervento disinfestante perché, oltre all'efficacia del trattamento, è necessario valutare soprattutto la possibilità che la stessa metodologia utilizzata danneggi i beni.

I requisiti cui ogni sistema di disinfezione/disinfestazione deve soddisfare sono essenzialmente due: avere effetto contemporaneamente su ogni tipologia di biodeteriogeno e contestualmente non essere dannoso per il bene, l'uomo e l'ambiente. In linea generale, quando si ricorre ad un trattamento di bonifica è opportuno eseguire le seguenti operazioni:

- accertarsi che il problema di degrado sia di natura biologica, identificando i biodeteriogeni e quantificando il danno;
- verificare se i biodeteriogeni siano vivi o morti, se diffusi o confinati in una zona limitata;
- verificare la presenza di altro materiale a rischio ed eventualmente rimuoverlo o isolare l'ambiente;
- valutare i rischi per i manufatti derivanti dalla rimozione dei biodeteriogeni;

- scegliere il metodo migliore (fisico o chimico) per eseguire il trattamento in funzione degli organismi presenti, dei materiali costitutivi il bene da trattare e del suo stato di conservazione;
- controllare il nome commerciale della formulazione in caso si opti per un insetticida, identificarne il principio attivo e la sua concentrazione, i composti carrier, gli emulsionanti, gli additivi ecc. (tutti elementi che potenzialmente potrebbero nuocere al bene), la presenza di altri eventuali biocidi per trattamenti precedenti;
- rivolgersi, ove necessario, a ditte esecutrici e a personale altamente specializzato in caso si opti per altri trattamenti o altrimenti utilizzare solo procedure codificate e rispettare la normativa vigente;
- controllare e descrivere le condizioni dell'oggetto prima del trattamento;
- riportare qualsiasi modifica e/o alterazione dell'oggetto dopo il trattamento.

La panoramica relativa ai principali metodi di lotta fisico-chimici, illustrata, porta a concludere che non si dispone di un trattamento che sia applicabile in maniera innocua e indiscriminata a tutte le tipologie di beni e che al tempo stesso sia in grado di esplicare attività biocida contemporaneamente su tutti i biodeteriogeni presenti (insetti e/o microfunghi) e non sia tossico né per l'uomo né per l'ambiente. Infatti, guardando ai metodi considerati tra i più promettenti, si evince ad esempio che:

- le atmosfere controllate/modificate hanno potere disinfestante ma non disinfettante;
- l'impiego di temperature elevate o molto basse viene generalmente limitato alla disinfestazione e non risulta efficace in caso di attacchi microbiologici;
- le microonde sono poco penetranti e non si possono utilizzare in presenza di materiali metallici;
- i raggi gamma non devono essere applicati a materiali chiari o vetri e presentano il problema della depolimerizzazione;
- l'ossido di etilene viene e sarà sempre meno utilizzato a causa della sua altissima tossicità.

Anche in questo caso vige la regola che ogni trattamento, sebbene scelto nel massimo rispetto dei materiali, deve essere effettuato solo in caso di estrema necessità e la sua applicazione deve essere eseguita con attenta supervisione e accurata documentazione perché il processo di bonifica comporta comunque un impatto meccanico, fisico e/o chimico sull'oggetto trattato. Interventi effettuati con metodi o prodotti non adatti, oppure eseguiti in maniera maldestra, potrebbero causare danni peggiori di quelli imputabili alla presenza dei biodeteriogeni. Pertanto, dopo aver deciso l'obbligatorietà del trattamento, si consiglia di valutare caso per caso vantaggi e svantaggi di ciascun metodo parallelamente ai limiti di applicabilità e ai costi di realizzazione, consci del fatto che qualsiasi trattamento effettuato, non preserva il bene bonificato da infestazioni successive (è indispensabile quindi verificarne l'efficacia nel tempo) e gli stessi effetti collaterali possono danneggiare ulteriormente gli oggetti trattati.

A rendere ancora più critica la situazione, considerata l'enorme ricchezza e l'estrema vulnerabilità del patrimonio artistico presente nel nostro Paese, è la scarsa conoscenza delle procedure di monitoraggio e/o di emergenza, che spesso coglie impreparati nel gestire trattamenti di bonifica siano essi disinfestanti o disinfettanti, di tipo ordinario oppure legati ad eventi straordinari quali calamità naturali, diventate purtroppo sempre più frequenti.

L'obiettivo auspicato dagli esperti in materia di prevenzione e conservazione del patrimonio culturale è proprio quello di individuare metodologie e linee guida da divulgare a livello nazionale ed internazionale; proprio in questo ambito si collocano le attività del Comitato Tecnico Europeo CEN/TC 346 "Conservation of Cultural Property" voluto dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI). Il Comitato ha lo scopo di svilup-

pare linee guida e norme europee per la caratterizzazione dei materiali, dei processi, delle metodologie e della documentazione relativi alla conservazione dei beni culturali tangibili per supportare la loro conservazione, protezione e manutenzione.

Data la molteplicità e la complessità degli argomenti da trattare, il CEN/TC 346 è strutturato in gruppi di lavoro e nel 2014 sono 11 di cui 6 assegnati all'Italia.

Nel caso particolare dei beni fotografici, è di fondamentale importanza disporre di personale tecnico altamente qualificato, con specifiche competenze relative alla grande eterogeneità di questi materiali compositi e biodeteriorabili, che sappia individuare, in tempi ragionevolmente brevi, il trattamento più idoneo da impiegare (è ormai noto che alcuni interventi possono risultare lesivi o irrilevanti per un supporto o un legante e non per un altro) e controllare la sua corretta esecuzione.

Capitolo 5

Gestione integrata degli infestanti

Dario Capizzi, Ubaldo Cesareo, Luciano Santini, Pasquale Trematerra

Negli ambienti di conservazione dei beni archivistici e librari, il solo intervento di disinfestazione non è quasi mai risolutivo poiché consegue risultati di breve durata caratterizzandosi spesso come una semplice reazione ad una singola infestazione. Occorre, viceversa, mettere in campo un insieme di strategie che, integrando più metodi e discipline per il controllo degli infestanti rendano l'ambiente di conservazione il meno possibile adatto allo sviluppo degli stessi (Kingsley & Pinniger, 2001; Pinniger, 2001; Trematerra & Pinniger, 2014). Un simile olistico metodo di lotta è conosciuto a livello internazionale come “programma di gestione integrata” (*Integrated Pest Management - IPM*). Tale approccio ha visto il primo impiego nel settore agricolo e nella conservazione delle derrate alimentari, successivamente è stato esteso al comparto ospedaliero e, infine, applicato al settore della conservazione dei beni culturali.

È opportuno quindi mettere in pratica una serie di interventi atti in primo luogo a evitare le possibili infestazioni ma anche, quando presenti, a riconoscere i biodeteriogeni responsabili nei tempi più brevi per poi intervenire in modo mirato ed efficace. A tale proposito il monitoraggio costituisce uno strumento importante per operare una corretta conservazione e lo scopo è quello di accertare l'eventuale presenza di organismi dannosi. Oltre alla valutazione dell'utilità o meno degli interventi, vanno presi in considerazione fattori quali l'efficacia (anche a lungo termine) dell'intervento stesso, la sicurezza per i beni, per l'uomo e per l'ambiente ed infine i costi. Inoltre non deve essere trascurato l'aggiornamento e l'organizzazione degli operatori coinvolti nel programma stesso.

Tale sistema di gestione integrata a sua volta rientra in un più ampio programma di conservazione di cui sono stati delineati gli aspetti principali nel capitolo 3.

5.1 Il controllo degli artropodi

Ubaldo Cesareo, Pasquale Trematerra

5.1.1 Le tecniche di monitoraggio

Per avere conoscenza delle specie presenti, eventualmente dannose, e della loro distribuzione all'interno di una struttura, è necessario realizzare un programma di monitoraggio che preveda un complesso di interventi conoscitivi. L'insieme di tali operazioni può essere impostato in modo differente a seconda della situazione da indagare, e normalmente costituisce la base di partenza per la programmazione di strategie contro le infestazioni. Le stesse metodologie di controllo rendono verificabili nel tempo anche gli esiti delle azioni intraprese per una migliore gestione delle emergenze riscontrate (Pinniger, 1994).

Le attività di monitoraggio generalmente prevedono sia l'impiego di trappole, che forniscono dati qualitativi e quantitativi riguardanti il grado di presenza degli infestanti, sia le ispezioni visive, con le quali si ottengono informazioni qualitative o semi-quantitative sul livello di infestazione presente (Kingsley & Pinniger, 2001; Trematerra &

Süss, 2007; Smith & Appel, 2008). Più le “letture” delle trappole e le ispezioni visive sono frequenti, maggiori sono le indicazioni che si possono ricavare per pianificare azioni tempestive di prevenzione e di lotta diretta. Il monitoraggio entomologico si può ritenere efficace se consente di individuare sia il problema sia la sua esatta collocazione; i risultati migliori si ottengono se tale attività viene inquadrata in un programma di IPM che permette una gestione globale e integrata degli organismi infestanti (Pinniger *et al.*, 2001; Trematerra, 2012) (fig. 5.1).

La messa a punto di una rete di trappole risulta essere il metodo più idoneo per il controllo in continuo degli insetti all'interno delle strutture (Pinniger, 1994) in cui vengono conservati i materiali fotografici. Agendo in tal modo, infatti, risulta possibile:

- catturare l'eventuale entomofauna presente;
- seguire l'attività degli insetti nel tempo e valutare la consistenza delle popolazioni;
- individuare i focolai delle infestazioni;
- valutare la distribuzione spaziale delle specie infestanti.

A tale proposito i congegni di cattura in commercio sono di varia tipologia, con forme, meccanismi di richiamo e intrappolamento differenti, e devono essere scelti in funzione degli ambienti nonché delle specie da monitorare (fig. 5.2).

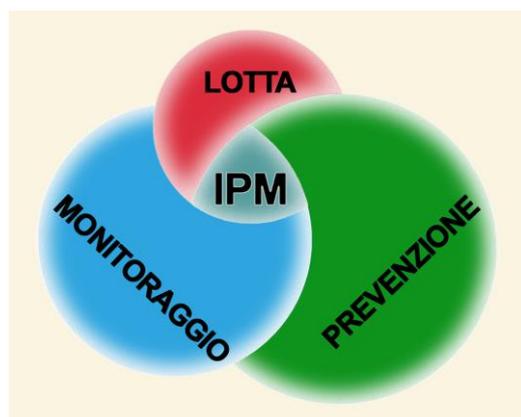


Fig. 5.1 - Rappresentazione schematica dei principali componenti dell'*Integrated Pest Management*



Fig. 5.2 - Tipologie di trappole adesive per insetti striscianti

Di seguito vengono presentati i principali tipi di trappole entomologiche utilizzabili dando particolare rilievo a quelle adesive prive di attrattivi (che sono tra le più ricorrenti e adatte per monitoraggi generalizzati in ambiente di conservazione di materiali archivistici e librari). È fondamentale che l'esame analitico del contenuto delle trappole venga affidato ad esperti nel settore entomologico.

Le trappole alimentari per “insetti striscianti” vengono innescate con sostanze particolarmente appetibili che riescono a stimolare la curiosità di numerose specie infestanti: soprattutto Blattoidei e più raramente Coleotteri, Psocotteri e larve di Lepidotteri. La cattura avviene attirando e trattenendo gli esemplari direttamente nell'esca alimentare, oppure invischiandoli su superfici collose o in oli alimentari. Talvolta l'azione attrattiva delle trappole viene potenziata mediante l'aggiunta di feromoni sintetici. Le trappole alimentari per “insetti volatori” sono invece utilizzate generalmente per il monitoraggio di Ditteri (mosche, mosconi e moscerini), ma anche per gli adulti di coleotteri o di lepidotteri. Gli insetti vengono adescati con sostanze alimentari e gli esemplari restano bloccati come per le trappole per insetti striscianti. Anche l'azione attrattiva di questo tipo di trappole può essere potenziata con inneschi contenenti feromoni di sintesi.

Per quanto riguarda le trappole a feromoni si ricorre al potere di richiamo di alcuni composti chimici di sintesi che riproducono l'azione adescante di sostanze naturali emesse dagli insetti con effetto su altri membri della stessa specie. In natura ne esistono diverse tipologie; da un punto di vista applicativo, i feromoni commerciali che trovano maggiore impiego riproducono essenzialmente i feromoni sessuali e quelli di aggregazione. Nel primo caso si tratta di sostanze contenute nei richiami volatili prodotti di solito dalle femmine al fine di attirare i maschi per l'accoppiamento. Tali feromoni sono basilari nella biologia delle specie i cui individui adulti vivono per breve tempo (a volte addirittura senza alimentarsi) come ad esempio avviene nei Lepidotteri e nei Coleotteri Anobidi. Gli attrattivi sessuali in commercio nella gran parte dei casi sono specifici e attirano esclusivamente i maschi *target*, hanno un raggio d'azione abbastanza ampio e le trappole possono essere posizionate distanti tra loro anche 10-15 m (Trematerra, 2012). I feromoni sintetici di aggregazione, invece, riproducono i messaggi che servono per attirare individui conspecifici generalmente verso una risorsa alimentare. Di solito sono prodotti da insetti che allo stadio di adulto vivono e si riproducono per un periodo prolungato di tempo, come ad esempio i Blattoidei e numerosi Coleotteri. In questo caso le trappole in commercio attirano sia i maschi sia le femmine, ma hanno un raggio d'azione più contenuto rispetto agli attrattivi sessuali; per tale motivo i congegni andrebbero installati ad una interdistanza massima di circa 5 m.

La geometria delle trappole può essere molto varia, a seconda dell'infestante e degli ambienti da monitorare (ad esempio a forma di pagoda, a delta, ad imbuto, a pannello). I feromoni vengono rilasciati lentamente mediante dispenser in polietilene (oppure altro materiale) o tramite supporti in gomma. In alcuni tipi di trappole, determinati feromoni possono essere abbinati ad attrattivi alimentari per sfruttare l'effetto sinergico delle diverse fonti. È da considerare, comunque, che i feromoni sono piuttosto costosi e non sempre disponibili in commercio per tutte le specie che possono frequentare gli ambienti di conservazione dei beni. Tuttavia tale tipo di trappole è particolarmente indicato qualora si rendesse necessario un monitoraggio approfondito per una determinata entità o, ad esempio, per controllare gli esiti di un intervento di disinfestazione (Pinniger *et al.*, 2001). La specificità e i costi di questo tipo di congegni ne limitano l'impiego e li rendono meno utilizzabili per attività di monitoraggio ad ampio spettro.

L'attività delle trappole luminose si basa sul potere di attrazione di determinate lunghezze d'onda (come ad esempio quelle appartenenti all'ultravioletto, al blu o al verde) su numerose specie di Ditteri, Lepidotteri, Coleotteri ecc. (Belmain *et al.*, 2000).

Moltissimi insetti volatori sono fototropici positivi e rispondono significativamente a tali stimoli luminosi anche a distanze di 6-7 m (Florian, 1997).

In termini generali sarebbe opportuno posizionare le trappole ad un'altezza di circa 2,5 m da terra, evitando di collocarle vicino a porte o finestre per non favorire accessi dall'esterno al momento dell'apertura delle stesse; inoltre è importante impedire per quanto possibile la competizione delle trappole con altre fonti di luce sistemandole lontano da correnti d'aria che potrebbero condizionare gli spostamenti degli insetti volatori. Nel valutare l'uso di questo tipo di trappole vanno considerati i rischi legati alla sicurezza e la possibilità che attirino i biodeteriogeni verso il materiale conservato. Non è consigliabile utilizzare le trappole luminose negli ambienti di conservazione poiché il loro sistema elettrico può rappresentare un pericolo di incendio (ma sul mercato si trovano anche trappole alimentate con batterie ricaricabili) e le radiazioni elettromagnetiche (in particolare gli ultravioletti) prodotte possono costituire fonte di danno ai materiali conservati. In ogni caso andrebbero evitate le trappole munite di griglia elettrica e invece preferite quelle con pannelli collanti su cui gli esemplari restano invischiati, avendo, in ogni caso, l'accortezza di posizionarle a distanza adeguata dai beni da salvaguardare.

Le trappole cromotropiche sfruttano il potere di attrazione di determinati colori brillanti (soprattutto il giallo) nei confronti di varie specie di insetti (vedi capitolo 3). Sono di solito costituite da pannelli di plastica, ricoperti con una sostanza collante; considerando i biodeteriogeni presenti in ambienti di conservazione tali trappole non risultano particolarmente utili.

Le trappole adesive prive di attrattivi sono realizzate in cartoncino e hanno una superficie collosa su cui rimangono attaccati gli insetti che vi si posano. Come già accennato, queste trappole sono di gran lunga le più utilizzate in ambienti archivistici e librari in quanto risultano efficaci, ad ampio spettro e allo stesso tempo sicure e poco costose. Se ne impiegano generalmente di due tipi: quelle per insetti striscianti e quelle per insetti volatori (fig. 5.3) (Cesareo *et al.*, 2006). Le trappole a pannello orizzontale per striscianti vengono posizionate a terra, sugli arredi, su contenitori di beni conservati ecc.; sono indicate per catturare gli individui atteri e gli stadi giovanili atteri di quelli alati, ma possono anche catturare insetti volatori (se pur in modo molto meno efficace rispetto a quelle verticali). Le trappole a pannello verticale per insetti volatori, particolarmente idonee in ambienti confinati, vengono preferibilmente 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 (fototropismo positivo).



Fig. 5.3 - Trappola adesiva, chiusa ed aperta, priva di attrattivi per insetti volatori, realizzata per il monitoraggio in ambienti archivistici, permette un trasporto in sicurezza dei campioni

Tab. 5.1 - Utilizzo di trappole adesive per insetti striscianti e volatori

TRAPPOLE ENTOMOLOGICHE ADESIVE	
Trappole a pannello orizzontale per insetti striscianti	Trappole a pannello verticale per insetti volatori
<ul style="list-style-type: none"> - Numerare le trappole e registrarle su una piantina del locale. - Scrivere la data di posizionamento sulla trappola. - Collocare le trappole lungo i bordi perimetrali del locale e sulle scaffalature, una ogni 2-4 metri lineari. - Controllare le trappole annotando la cattura di artropodi, una volta alla settimana, almeno una o due volte al mese. - Registrare le date delle catture. - Sostituire le trappole in caso di elevate catture, oppure di superfici collanti usurate. - Identificare gli artropodi catturati. 	<ul style="list-style-type: none"> - Numerare le trappole e registrarle su una piantina del locale. - Scrivere la data di posizionamento sulla trappola. - Appendere le trappole preferibilmente in prossimità delle finestre con il lato coloso rivolto verso l'interno del locale, una ogni metro quadrato (in assenza di finestre appendere se possibile le trappole vicino a fonti luminose artificiali). - Controllare le trappole annotando la cattura di artropodi, una volta alla settimana nel periodo primaverile-estivo e almeno una volta al mese nelle altre stagioni. - Registrare le date delle catture. - Sostituire le trappole in caso di elevate catture, oppure di superfici collanti usurate. - Identificare gli artropodi catturati.

Nella tabella 5.1 viene riportato uno schema di utilizzo in locali di conservazione delle trappole adesive prive di attrattivi. Per le attività di monitoraggio è preferibile utilizzare entrambi i tipi di trappole in quanto raccolgono una diversa quantità e qualità di insetti.

Informazioni utili sulla presenza o meno di artropodi si possono ottenere mediante i sopralluoghi condotti negli ambienti di conservazione e in quelli limitrofi sia interni sia esterni. Con attente ispezioni “visive”, infatti, si riesce a rilevare la presenza di esemplari vivi o morti e loro tracce, come esuvie di insetti, camminamenti, escrementi, danni caratteristici sui materiali, polvere di rosura ecc. (vedi capitolo 3). Tali ispezioni offrono anche l'occasione per verificare l'efficienza degli interventi preventivi di lotta attuati e per ottimizzarne l'efficacia. Anche quando è stata installata una rete di trappole, le osservazioni raccolte durante i sopralluoghi consentono di mettere a punto strategie mirate. Si ricorda che oltre ai locali di conservazione è fondamentale esaminare anche le aree limitrofe, i locali adibiti a deposito di materiali diversi dai beni culturali (specie se appetibili ai biodeteriogeni) e i locali poco frequentati. In particolare, durante la fase ispettiva si devono controllare con particolare attenzione:

- gli alloggiamenti dei materiali conservati e i materiali stessi;
- gli angoli e gli anfratti in cui è più difficile effettuare operazioni di normale igiene oppure dove vi sono imperfezioni strutturali, come ad esempio crepe e fori nella pavimentazione e sulle pareti;
- le canaline elettriche, le tubazioni e le strutture aeree in generale;
- i materiali accatastati (se presenti);
- i quadri elettrici;
- le controsoffittature;
- i pozzetti e altri sistemi di raccolta per l'acqua;
- i battiscopa e gli stipiti;
- le aree adiacenti a finestre e a porte non a tenuta.

Nel corso del sopralluogo andrà raccolto tutto ciò che rappresenta un reperto biologico-entomologico (resti di insetti, polveri di rosura ecc.) o eventuale materiale fotografico particolarmente danneggiato. I campioni prelevati e trasportati in sicurezza dovranno essere analizzati da personale esperto per identificare correttamente la specie responsabile del danno. Per effettuare i sopralluoghi sono sufficienti semplici e maneggevoli attrezzature: una fonte luminosa (per illuminare le zone buie), uno specchio (per osser-

vare anche gli angoli non raggiungibili e nascosti), un dispositivo ottico per ingrandire, mezzi per la raccolta e conservazione dei campioni (contenitori, alcool etilico, involucri, pinzette, pennelli, guanti di protezione ecc.) e tutto il materiale occorrente per le annotazioni.

Al fine di poter disporre di dati utilizzabili a lungo termine e per la elaborazione di analisi storiche e statistiche, è opportuno in alcuni casi assegnare degli indici di densità alle rilevazioni effettuate (dati semi-quantitativi), basati sul numero approssimativo di tracce o di reperti osservati. È bene tuttavia precisare che non è possibile usare questi valori numerici tal quali, poiché sono inevitabilmente condizionati dalle capacità di osservazione e giudizio di chi opera, non sempre ripetibili anche per lo stesso addetto. Può essere anche utile la raccolta della polvere presente nei locali di conservazione; le polveri andranno inserite in contenitori indicanti i luoghi di provenienza ed esaminate successivamente al microscopio per cercare parti di artropodi o artropodi di piccole dimensioni (Principato, 1998).

5.1.2 Le strategie di *Integrated Pest Management*

Qualsiasi intervento di disinfestazione non può prescindere dal controllo preventivo delle condizioni ambientali che, se non idonee, favoriscono la riproduzione e lo sviluppo dei biodeteriogeni. Una strategia in logica di *Integrated Pest Management* prevede i seguenti punti principali: evitare la presenza degli infestanti, identificare gli artropodi infestanti, individuare i problemi, applicare gli opportuni metodi di lotta e valutarne l'efficacia.

5.1.2.a Evitare la presenza degli infestanti

Per evitare che in un ambiente di conservazione possano entrare insetti dannosi e/o trovare condizioni ideali per vivere e riprodursi (Ruschioni & Veca, 2002) risulta importante:

- monitorare e regolare rigorosamente i parametri ambientali di temperatura, umidità e illuminazione in modo che siano sfavorevoli allo sviluppo degli insetti;
- impedire agli insetti l'accesso dall'esterno, ad esempio posizionando zanzariere alle finestre e soglie alla base delle porte, schermando con griglie le prese d'aria e della ventilazione, sigillando fori, fessure ed interstizi nei muri e nelle vicinanze delle tubature che costituiscono possibili luoghi di rifugio;
- evitare, tramite accurati controlli, che con l'acquisizione di nuovi manufatti si possano introdurre anche organismi infestanti. Predisporre una stanza di quarantena ove far soggiornare i materiali per il tempo necessario;
- curare l'igiene dei locali, in modo da non fornire agli insetti ulteriori substrati su cui svilupparsi;
- ispezionare i punti poco frequentati e i locali marginali;
- evitare infestazioni in locali limitrofi.

5.1.2.b Identificare gli artropodi infestanti

Come accennato, mediante le ispezioni visive e i monitoraggi periodici con trappole è possibile rilevare non solo la presenza di artropodi vivi o morti ma anche effettuare, laddove non sia presente l'infestante o gli infestanti, il loro riconoscimento attraverso altri reperti come ad esempio piccoli frammenti, esuvie, danni caratteristici sui mate-

riali, polveri di rosura, camminamenti (Magaudda, 1994; Chiappini *et al.*, 2001; Trematerra & Suss, 2007). Una volta identificato l'insetto o gli insetti infestanti, conoscendo la loro biologia, sarà più semplice predisporre un successivo programma di controllo mirato. Nei luoghi di conservazione, oltre ad ispezionare il bene conservato e il rispettivo contenitore, devono essere controllate anche le zone di passaggio e/o di accesso oppure qualsiasi altro luogo che possa costituire un riparo o un annidamento o servire a nascondere eventuali fonti di cibo.

Inoltre, nella ricerca dei biodeteriogeni devono essere prese in considerazione anche le loro caratteristiche comportamentali e biologiche; ad esempio l'entomofauna lucifuga (es. Tisanuri, larve di Coleotteri Dermestidi) andrà ricercata in luoghi bui e meno frequentati mentre quella fototropica (es. adulti di alcune specie di Coleotteri Dermestidi e Anobidi) dovrà essere individuata presso davanzali di finestre o lampade. Anche se le attività di controllo entomologico evidenziano la presenza di insetti non dannosi al patrimonio fotografico, tali artropodi sono comunque da debellare in quanto possono lasciare residui e/o depositi sul materiale conservato, rappresentare un problema igienico-sanitario per le persone che frequentano gli ambienti di conservazione o possono favorire addirittura lo sviluppo di specie biodeteriogene che si nutrono a loro carico o anche dei loro resti.

5.1.2.c Individuare i problemi

Se ispezioni visive e monitoraggi di controllo segnalano nelle aree interessate infestazioni in atto, per contenere la specie nociva e limitare i possibili danni al materiale, si deve procedere a una immediata e accurata individuazione del problema predisponendo indagini più accurate. Tale valutazione deve essere affidata a personale specializzato che sappia individuare tempestivamente i biodeteriogeni coinvolti e pianificare interventi mirati di recupero. A differenza del settore agricolo dove si interviene su una infestazione quando questa supera una certa soglia di tolleranza (normalmente quando il costo dell'intervento è minore o uguale alla perdita economica causata dall'infestazione stessa), negli ambienti di conservazione di beni culturali, considerando che un attacco entomologico può portare a perdita di materiale, bisognerebbe intervenire immediatamente in presenza di una infestazione di qualsiasi entità. D'altra parte la presenza di pochi insetti potrebbe non necessariamente indicare una infestazione in atto, ma solo un ingresso occasionale; tale condizione segnala comunque una criticità nel programma di prevenzione e richiede puntuali interventi migliorativi.

5.1.2.d Metodi di lotta

Normalmente i trattamenti disinfestanti devono essere eseguiti sia sul materiale interessato dal danno sia sull'ambiente di conservazione e devono essere scelti in base non solo al tipo di infestante da debellare, in quanto gruppi diversi di insetti o in certi casi anche specie diverse necessitano di interventi differenti, ma anche in base alle varie tipologie di materiale (Montanari *et al.*, 2008).

Per quanto riguarda gli insetti più comunemente dannosi al materiale fotografico, in particolare per i Tisanuri e gli Psocotteri che vivono in ambienti umidi, è fondamentale procedere a interventi di deumidificazione, accompagnati dalla spolveratura dei materiali infestati e dalla pulizia dei locali; tali interventi possono essere risolutivi in caso di infestazioni di modesta entità. Infestazioni massicce richiedono ulteriori interventi come il ricorso alle atmosfere controllate/modificate sui beni infestati e trattamenti con opportuni insetticidi, generalmente in forma polverulenta nei locali di conservazione.

Ad esempio, in generale, buoni risultati offrono contro insetti striscianti e volatori gli insetticidi a base di deltametrina e di piretrine naturali sinergizzate con piperonil butossido; si tratta di prodotti concentrati, inodori, che diluiti possono essere nebulizzati sui materiali non sensibili agli stessi. Svolgono un'azione abbattente e snidante con lunga residualità. Riferendosi alle trappole per i vari tipi di monitoraggi, nei confronti degli Psocotteri si possono utilizzare quelle adesive prive di attrattivi, di solito impiegate sia per insetti striscianti sia per insetti volatori. Psocotteri di specie attere o microttere possono comunque rimanere adese su trappole per volatori (a pannello verticale) perché trasportati in sospensione dalle correnti d'aria. Anche per i Tisanuri sono di solito impiegate le trappole adesive per insetti striscianti prive di attrattivi.

In presenza di infestazioni da Blattoidei validi trattamenti sono ad esempio quelli a base di fipronil distribuito in gel alimentare molto appetibile che si applica in minime dosi lasciate nell'ambiente in punti frequentati dalle blatte. Il fipronil è, infatti, letale per tali insetti a dosi molto basse e non uccide immediatamente gli individui che lo hanno ingerito. Tale prodotto può essere trasferito da una blatta all'altra con una sorta di effetto a catena che lo diffonde attraverso tutta la popolazione infestante, eliminandola (si sfrutta l'abitudine che hanno questi infestanti nel nutrirsi di feci e di carcasse di esemplari della stessa specie). Anche valido sembrerebbe (in particolare per interventi di profilassi in luoghi soggetti a reinfestazione o per combattere infestazioni nello stadio iniziale) il gel a base di imidacloprid che svolge una spiccata azione insetticida in particolare verso gli stadi giovanili. La sopravvivenza di questi stadi costituisce, infatti, una delle più comuni fonti di reinfestazione ambientale. Anche le trappole specifiche per i Blattoidei (in particolare quelle addizionate di feromoni) risultano essere utili nell'abbassarne il numero; tuttavia utilizzate da sole non sono considerate in grado di eliminare un'infestazione provocata da questi insetti. Inoltre i trattamenti disinfestanti devono essere eseguiti parallelamente ad un risanamento ambientale che comporta la chiusura di tutti i possibili accessi e l'eliminazione del maggior numero possibile di luoghi adatti al rifugio delle blatte. Per combattere i Blattoidei è, poi, fondamentale mantenere una buona pulizia e un grado di umidità non elevato nei locali.

Tali trattamenti sono fondamentali anche per evitare nuove infestazioni nei locali di conservazione e in quelli limitrofi (se presenti); come di regola per controllarne l'efficacia, oltre che per scoprire nuove infestazioni, sono utili monitoraggi periodici (ispezioni dirette e disposizione di trappole). In particolare durante le ispezioni potranno essere, ad esempio, notati indizi della presenza di Blattoidei come i caratteristici imbrattamenti ed erosioni sui materiali conservati (Adamo *et al.*, 2009a) o la presenza di ooteche. Fondamentali sono i monitoraggi realizzati con trappole entomologiche adesive per insetti striscianti. Si possono utilizzare sia trappole prive di attrattivi sia trappole con attrattivi specifici (esche alimentari e/o feromoni di aggregazione). Tuttavia per monitoraggi a carattere generico e di controllo vengono utilizzate trappole prive di attrattivi in quanto meno costose e ad ampio spettro (possono catturare tutti i tipi di insetti presenti), mentre quelle con attrattivi vengono utilizzate quando si rende necessario un monitoraggio specifico e particolarmente approfondito.

Per quanto riguarda gli Isotteri i trattamenti sono differenti a seconda della termite da combattere sebbene tutti mirino all'eliminazione del "nido" e quindi della colonia. Le specie più pericolose appartenenti al genere *Reticulitermes* (*R. lucifugus*, *R. urbis*, *R. flavipes*) che formano grandi colonie con nidi sotterranei anche al di fuori degli edifici, vengono controllate utilizzando esche alimentari associate a insetticidi contenenti principi attivi in grado di bloccare la sintesi della chitina (ad es. esaflumuron) impedendo quindi il regolare sviluppo di questi insetti. Gli inibitori della chitina vengono diffusi, attraverso il comportamento di trofallassi alla colonia la quale, seppur in tempi lunghi, può essere del tutto eliminata.

Come è noto il fenomeno di trofallassi è tipico negli insetti sociali come le termiti e le formiche e consiste nello scambio di sostanze nutritive che, procurate da alcuni individui, vengono poi condivise con altri appartenenti alla stesso nido. Per la lotta a *Kalotermes flavicollis* si procede con trattamenti disinfestanti, generalmente impiegando insetticidi liquidi a base di permitrine o carbammati, diretti ai nidi presenti nell'ambiente di conservazione. La disinfestazione contro *Cryptotermes brevis* viene generalmente eseguita direttamente con interventi a base di atmosfere controllate/modificate sul materiale infestato in quanto questa specie forma piccole colonie e nidi nel materiale stesso. Devono essere tuttavia eliminati gli eventuali focolai presenti su altri materiali appetibili presenti nell'ambiente di conservazione (con particolare attenzione per i manufatti lignei).

Il metodo più idoneo per affrontare le infestazioni da Coleotteri Anobidi e Dermestidi su beni archivistici e librari è il trattamento con atmosfere controllate/modificate. Per quanto riguarda i Dermestidi, considerando che le larve di questi coleotteri (a differenza di quelle degli Anobidi) si muovono nell'ambiente e, poiché il loro ciclo vitale è più lungo di quello degli individui adulti, è necessario affiancare all'intervento sul materiale infestato anche un'accurata pulizia dei locali. Parallelamente all'opera di disinfestazione, andranno adottati accorgimenti di esclusione in modo da impedire eventuali reinfestazioni (come ad esempio l'utilizzo di reti zanzariere). Inoltre particolarmente importante per evitare nuove infestazioni da coleotteri dannosi (e non solo) è il controllo e la quarantena dei nuovi materiali acquisiti prima del loro alloggiamento nei locali di conservazione.

L'applicazione di insetticidi liquidi sulla superficie dei materiali infestati di solito non penetra sufficientemente tanto da uccidere le larve attive e inattive presenti all'interno del bene. Tali sostanze possono essere invece usate a scopo preventivo contro le larve che si avviano alla superficie per creare il foro di sfarfallamento dell'adulto come pure per eliminare l'adulto stesso che si muove sulla parte trattata. Nella gran parte dei casi l'uso di insetticidi liquidi dovrebbe essere praticato tra giugno e luglio in coincidenza dello sfarfallamento degli insetti adulti.

La valutazione di efficacia di qualsiasi trattamento disinfestante può essere effettuata anche tramite radiografie a raggi X che consentono di visualizzare gli individui nelle gallerie scavate nei manufatti.

Per prevenire la presenza di *Scleroderma*, responsabile di fastidiose punture all'uomo (questi imenotteri possono infestare un locale solo se all'interno vi trovano ospiti da parassitare) è necessario evitare le infestazioni dei loro ospiti (soprattutto Coleotteri Anobidi). Come appena riportato, contro i tarli si ottengono buoni risultati mediante trattamenti basati sull'impiego di atmosfere controllate/modificate. Inoltre, dato che anche gli imenotteri si muovono liberamente nell'ambiente alla ricerca di ospiti, un'accurata pulizia dei locali risulta essenziale per la loro eliminazione.

Analogamente, per evitare la presenza di Acari del genere *Pyemotes*, anch'essi capaci di pungere le persone, è necessario eliminare le infestazioni da tarli e mantenere bassa l'umidità ambientale. Alquanto problematico è il controllo delle zecche della famiglia Argasidae come *Argas reflexus* (Fabricius) frequente in locali infestati da piccioni. Al riguardo, oltre l'allontanamento dei piccioni dalle aree limitrofe ai locali di conservazione, è indispensabile disinfestare con prodotti chimici gli ambienti (si consiglia di spostare i beni per prevenire eventuali danni) e risanarli eliminando, ad esempio, le crepe e le fessure nei muri possibili rifugi per le zecche. Si ricorda anche che, in caso di infestazioni da piccioni, al fine di evitare problemi sanitari è necessario sottoporre a disinfezione i materiali conservati, eventualmente danneggiati dalle deiezioni, e sanificare i locali.

5.2 Gestione della fauna ornitica

Pasquale Trematerra

Una problematica da non trascurare è la gestione delle specie ornitiche (Ballarini, 1984; Ballarini *et al.*, 1989; Dinetti, 1997, 1998; Baldaccini & Giunchi, 2011). L'approccio da seguire è sempre quello dell'IPM poiché nessun metodo, se utilizzato singolarmente ed in maniera episodica, non coordinata e in assenza di un piano di monitoraggio, può offrire risultati apprezzabili e vantaggiosi (Dinetti & Gallo-Orsi, 1998). La definizione della strategia deve sempre essere effettuata attraverso uno studio preliminare, che valuti distribuzione e densità della specie in oggetto (censimenti), lo stato sanitario, le problematiche causate alla popolazione e le zone di maggior conflitto (aree a rischio).

Il colombo di città (*Columba livia*), specie non selvatica da anni, è il volatile più frequentemente riscontrabile per l'abitudine di nidificare nei sottotetti o sui davanzali di finestre (forma consistenti colonie sinantropiche). Gli archivi interessati a questo tipo di infestante sono, chiaramente, quelli situati in città ove la densità della popolazione di tale specie è molto elevata. Questi volatili potrebbero causare danni direttamente ai supporti conservati (le deiezioni sono ricche di acidi organici contenenti solfati, nitrati, fosfati che, reagendo, corrodono il substrato) e scatenare diverse forme patogene (aspergilloso, salmonellosi, clamidiosi ecc.) nonché favorire il diffondersi di ectoparassiti provocando così problemi di tipo igienico-sanitario al personale che frequenta i locali adibiti a conservazione (vedi capitolo 6). La loro presenza (attraverso l'accumulo di escrementi e il rilascio di penne e piume), può causare ulteriori danni indirettamente attirando altri insetti o aracnidi favorendo così anche infestazioni ad esempio di blattoidei e/o dermestidi o di acari. Sugli escrementi possono svilupparsi infatti ife microfungine che attirano insetti (che si nutrono di esse) come gli psocotteri (Montanari *et al.*, 2008). Le popolazioni in precario stato di salute possono essere portatrici di alcune malattie trasmissibili all'uomo: se ne conoscono una quarantina che interessano la specie umana e gli animali domestici.

Il sovraffollamento dei volatili è dovuto all'abbondanza di siti di nidificazione protetti e irraggiungibili, all'abbondanza di cibo reperibile, alla presenza di numerosi ripari e luoghi adatti alla riproduzione, al clima ideale e, non ultimo, alla mancanza di competitori e di predatori naturali. In effetti sia lo sviluppo sia l'antropizzazione hanno contribuito in maniera profonda alle loro condizioni di vita. Si impone quindi anche in questo ambito l'esigenza di individuare opportune strategie integrate, ecologiche ed economicamente sostenibili, in quanto le specie devono essere sempre gestite in un'ottica conservativa. Qualsiasi intervento deve essere effettuato solo in presenza di rischi effettivi ed è sempre basilare rispettare il mantenimento degli equilibri intra ed interspecifici. Le principali misure utili a scoraggiare gli uccelli dal nidificare o addirittura dallo stabilirsi all'interno di alcune aree dell'edificio, comprendono una serie di modifiche ambientali atte a rendere l'habitat inadatto.

La predisposizione di ostacoli all'accesso dei siti utilizzati per il riposo o per la nidificazione (sottotetti, grondaie, nicchie murarie, anfratti ecc.), mediante mezzi fisici, impedisce l'ingresso e/o l'appoggio degli uccelli (Ballarini, 1984; Ballarini *et al.*, 1989). Chiusura di cavità-nido e spazi-sosta rappresentano i principali mezzi di esclusione. Ad esempio vengono usate le maglie di acciaio adattate dentro le aperture delle grondaie o le reti antintrusione (per chiudere gli accessi) da installare nei punti critici (cornicioni, sopra porte e finestre ecc.). Questi dissuasori hanno quindi lo scopo di trasformare le parti degli edifici, normalmente utilizzate dagli uccelli per la sosta e la nidificazione, da posatoi ottimali a superfici impraticabili.

I sistemi di dissuasione, che tendono a prevenire l'appollaiamento o la sosta, risultano efficaci in un primo periodo e in seguito essere ignorati. Si possono esercitare azioni di disturbo anche mediante sistemi che usano rumori o stridii di allarme ma sono utilizzati solo in aree rurali e tra l'altro non forniscono risultati duraturi nel tempo. Infine un ulteriore controllo può essere effettuato con la limitazione dei siti di nidificazione e la sottrazione di uova (le nascite vengono controllate attraverso la rimozione/sostituzione delle uova) che però sono regolamentate dalle leggi in vigore. Nella tabella 5.2 vengono elencati alcuni sistemi di dissuasione generalmente utilizzati.

Tab. 5.2 - Tipologie di sistemi di dissuasione

DISSUASORI MECCANICI E DI ALTRO GENERE	
Dissuasori a spilli	Nelle strutture ampie devono essere posizionati in serie multipla, poiché l'utilizzo di una sola fila può indurre i colombi a "scavalcare" la prima, usando in tal modo lo spazio retrostante. I più impiegati sono quelli in acciaio inox che possono essere installati con colle idonee oppure con viti e altri sistemi di fissaggio.
Dissuasori a filo (bird ware)	Sistema a filo in acciaio inox che ostacola la sosta dei volatili. L'azione di disturbo è data dal filo posto sopra la superficie da proteggere: l'elasticità di esso ne impedisce l'atterraggio e così gli uccelli, trovando una superficie instabile, preferiscono cercare altri punti ove posarsi.
Dissuasori a rete	Sistema a rete (in polipropilene o in acciaio) ancorato all'edificio da proteggere. Tutela efficacemente gli spazi dall'accesso dei volatili.
Fili percorsi da corrente elettrica	A basso voltaggio, così da indurre solamente un effetto sgradevole, questi fili vengono situati nelle zone in cui gli uccelli si appollano. Devono essere sottoposti a regolari controlli e quindi si deve valutare il costo della manutenzione degli impianti.
Strisce di polietilene	Le strisce possiedono punte finissime di plastica o di altro materiale che impediscono agli uccelli di posarsi. Si applicano su sporgenze e cornicioni, sono poco visibili, facilmente posizionabili e di lunga durata.
Lamiere inox	Si sovrappongono ai cornicioni e la pendenza a 45° serve ad impedire la sosta degli uccelli.
Dissuasori ottici	Uso di forme umane tradizionali, di sagome di uccelli predatori che raramente sono efficaci però a lungo termine.
Sistemi di dissuasione acustica	Come gli stimoli ad ultrasuono, non hanno per il colombo valore biologico. I sistemi di emissione di segnali aspecifici, potenzialmente più validi, non possono essere impiegati in ambito urbano per l'inquinamento acustico che producono.
Repellenti (bird repellent)	Repellenti di natura chimica in pasta sfruttano nella loro azione varie sostanze odorose, oppure film di gel plastico, richiedono un luogo di preparazione e una pulizia regolare poiché col tempo possono diventare inefficaci. Facilmente applicabili con pistole da sigillante, sono però in grado di intrappolare e invischiare specie più piccole (e protette dalla legge) quali rondini, rondini e passeri.

5.3 Il controllo dei roditori

Dario Capizzi, Luciano Santini

Le tecniche da adottare contro i roditori sono direttamente condizionate dalle caratteristiche dell'ambiente. Prioritariamente dalla qualità e dall'efficienza delle misure di esclusione, ossia di tutti quei provvedimenti finalizzati ad impedire l'ingresso dei roditori nella struttura deputata alla conservazione del materiale; secondariamente dalla capacità portante dell'ambiente, ossia dalle risorse di acqua e cibo e dalla protezione che l'ambiente offre ai roditori per sostenerne le popolazioni.

5.3.1 Le tecniche di monitoraggio

Sebbene non sia agevole separare le attività di monitoraggio vere e proprie da quelle di lotta, verranno sinteticamente passate in rassegna le possibili tecniche da adottare per il monitoraggio delle popolazioni di roditori. In generale per tutti gli infestanti, il monitoraggio deve restituire informazioni sui seguenti aspetti: specie presente/i, dimensioni della popolazione, principali vie di ingresso e di spostamento degli individui, risorse alimentari e punti di ricovero. L'attività dei roditori può essere prontamente rilevata dal rinvenimento di tracce, quali escrementi, erosioni e accumuli di materiale, il cui ritrovamento può risultare diagnostico della specie presente; tuttavia nelle situazioni in cui le densità di popolazione siano contenute o la presenza sia del tutto occasionale, è possibile ricorrere a diverse tecniche. Negli ambienti di conservazione dei beni culturali è ragionevole assumere che la specie eventualmente presente possa essere solo il *Topo domestico*, visto che la presenza di ratti è tipica di situazioni di elevato degrado strutturale e ambientale. Per tale ragione le tecniche di monitoraggio, come le ispezioni periodiche e i dispositivi di cattura ed esche, di solito riguardano esclusivamente questa specie.

Si tratta, dunque, di ispezionare periodicamente con cura l'archivio fotografico, utilizzando strumenti come torce e specchietti, i quali consentono di esaminare con cura anche le parti sottostanti e soprastanti gli armadi e gli scaffali. Si può ricorrere a questa tecnica solo laddove le misure di profilassi siano complessivamente efficienti. La frequenza delle ispezioni è difficile da determinarsi, ma dovrebbe essere almeno quindicinale. Infatti, qualora si rinvenga la presenza di roditori, deve essere possibile mettere in atto una strategia finalizzata al controllo degli individui prima che essi riescano a insediarsi stabilmente e a riprodursi.

I dispositivi di cattura sono ascrivibili a diverse categorie, per una approfondita disamina delle quali si rimanda a quanto contenuto in testi appositamente dedicati (Corrigan, 2001; Capizzi & Santini, 2007). In questa sede, è opportuno distinguere fra trappole collanti e trappole meccaniche.

Le trappole collanti sono un mezzo molto diffuso e assai efficace per la sorveglianza e, allo stesso tempo, per il controllo del *Topo domestico*. Inoltre, presentano il vantaggio di offrire un monitoraggio abbastanza completo di tutti gli altri parassiti che si muovono al livello del suolo. Tuttavia, l'elevato grado di sofferenza che inducono nei roditori catturati rende l'uso di questi dispositivi quantomeno discutibile dal punto di vista etico. Anche le trappole meccaniche rappresentano un sistema di monitoraggio e controllo efficace nei riguardi del *Topo domestico*. Tali trappole possono essere a cattura singola o a cattura multipla; queste ultime consentono l'intrappolamento di più individui senza la necessità di essere re-innescate. A seconda che gli individui siano catturati vivi o uccisi al momento della cattura si distinguono trappole *live* o trappole *killer*.

Un'ulteriore distinzione è fra le trappole che prevedono un'esca e quelle cosiddette "di curiosità", che sfruttano il richiamo esercitato dal foro d'ingresso e funzionano senza un'esca; queste probabilmente offrono la soluzione più efficace ed evitano di introdurre nell'ambiente alimenti che possono favorire lo sviluppo di altri deteriogeni, soprattutto insetti. Le trappole vanno tuttavia controllate con adeguata frequenza, almeno settimanale, onde evitare che i roditori catturati muoiano e vadano in putrefazione, costituendo così un ulteriore fattore di contaminazione per l'ambiente.

Le esche virtuali sono costituite da blocchi compatti di sostanze commestibili da porre negli erogatori, simili in tutto alle esche tossiche ad eccezione del fatto che non contengono il principio attivo rodenticida. La loro funzione è quella di permettere di localizzare l'eventuale presenza di roditori, testimoniata dal rinvenimento di erosioni sulle esche medesime in occasione di periodici e frequenti controlli. Nel caso esse risultino visitate/consumate da roditori, devono immediatamente essere sostituite dai blocchetti

tossici o da dispositivi di cattura. Lo scopo di questa tecnica è quello di evitare l'utilizzo ingiustificato di esche tossiche o di trappole limitandolo solo alla effettiva presenza di roditori. Anche in questo caso, i controlli delle esche non devono essere eccessivamente dilazionati nel tempo. Qualora si eccedano i quindici giorni, l'impiego di questa tecnica rischia di rivelarsi addirittura controproducente, dal momento che gli eventuali ingressi di individui non sarebbero scoperti con tempestività, ritardando anche la messa in atto delle necessarie misure di controllo. Tale metodo verrà comunque trattato più approfonditamente nella parte dedicata al controllo delle popolazioni.

5.3.2 Le strategie di *Integrated Pest Management*

Come si è specificato nella parte dedicata al monitoraggio della presenza dei roditori, la strategia da adottare dipende in primo luogo dalle condizioni dell'ambiente in cui si opera. Una popolazione, infatti, non può sostenersi se non in presenza di condizioni favorevoli in termini di disponibilità di cibo e di opportunità di ricovero. Ne consegue che in qualunque piano di controllo, nell'ottica di stabilizzare una popolazione di roditori al di sotto di una determinata densità, la riduzione di tali risorse è il primo obiettivo da perseguire. Ciò che occorre considerare è che la gestione dell'ambiente costituisce a tutti gli effetti un'attività di controllo della popolazione infestante ed è certamente quella che offre il maggior contributo alla sua riduzione numerica. Nella maggior parte dei casi, in assenza di interventi sull'ambiente, ben pochi risultati saranno conseguiti dai soli controlli convenzionali.

5.3.2.a Metodi di esclusione

Dal punto di vista concettuale, il sistema più semplice per risolvere alla radice i problemi causati dalla presenza dei roditori è sicuramente quello di impedirne l'ingresso nelle aree destinate alla conservazione dei materiali. Gli accorgimenti necessari per raggiungere quest'obiettivo definiscono le misure di esclusione. Le fessure sotto le porte costituiscono inevitabili punti di accesso per i roditori di piccola taglia e, quando più ampie, anche per i ratti. A titolo di esempio, un giovane topo domestico è in grado di passare già attraverso un foro di 5x5 mm. Anche quando le porte siano a tenuta, è necessario verificare quanto esse restino effettivamente chiuse: spesso i roditori possono fare il loro ingresso dalle porte tenute imprudentemente aperte per buona parte della giornata o anche di notte. È superfluo sottolineare come l'individuazione di tali punti critici o comportamenti scorretti consenta di ottenere benefici anche nell'ottica di ridurre la presenza di infestanti di altro genere, soprattutto per quanto riguarda gli insetti. L'abilità dei roditori nell'arrampicarsi su qualunque substrato offra loro un minimo appiglio fa sì che le intrusioni possano avvenire anche dagli altri piani dell'edificio. Nelle aree del tetto sia il topo domestico sia il ratto nero sono in grado di costituire importanti popolazioni e da lì, tramite varchi idonei, accedere alle aree interne dove si conservano i materiali.

5.3.2.b Bonifica delle aree esterne

Gli interventi di riduzione delle risorse possono interessare anche le aree esterne della struttura che ospita l'archivio. Tali interventi hanno l'obiettivo di decurtare le risorse a disposizione dei roditori, riducendone così la consistenza numerica e, di conseguenza, gli ingressi nelle aree interne. Una parte importante degli interventi deve riguardare la gestione delle aree provviste di vegetazione, in considerazione delle opportunità alimentari e di ricovero da esse offerte. Viene quindi raccomandato lo sfalcio periodico della vegetazione erbacea; nelle vicinanze degli edifici deve essere evitata la messa a

dimora di arbusti con chioma strisciante e/o rampicante, soprattutto quelli che tendono a formare al loro interno cavità che possono facilitare il ricovero di piccoli animali. Le piante rampicanti, ma anche gli alberi, soprattutto se situati immediatamente a ridosso delle pareti degli edifici, possono costituire un pericolo, dal momento che i roditori dalla chioma degli alberi sanno accedere al tetto e di qui alle aree interne. La raccomandazione è quindi quella di tenere le piante il più possibile distanti dalle pareti esterne, potando eventuali rami che possano raggiungere o sovrastare gli edifici; al tempo stesso, è opportuno rimuovere materiali e detriti accumulati lungo i muri esterni.

5.3.2.c Interventi di controllo

Similmente all'IPM rivolto agli insetti, la lotta ai roditori all'interno degli archivi può essere condotta mediante diverse strategie, la cui scelta dipende dalle caratteristiche della struttura in questione, dalla qualità delle misure di esclusione messe in atto, dall'entità e dalla natura del problema. Fondamentalmente la scelta è quella di puntare su trappole o esche tossiche oppure, come più di frequente si verifica, su una combinazione di entrambe le tecniche. Per giudicare la strategia di controllo più idonea al contesto in cui si opera, è necessario valutare le risultanze delle attività di monitoraggio o dei sopralluoghi effettuati.

Le trappole possono essere impiegate con profitto soprattutto nelle situazioni più virtuose, dove le strutture sono in grado di impedire gli ingressi dei roditori e dove le eventuali presenze che si dovessero riscontrare sono ascrivibili al topo domestico. La densità delle trappole potrà essere mantenuta bassa, i controlli quindicinali. In tal caso, l'uso delle trappole si colloca a metà tra una tecnica di controllo vera e propria e il monitoraggio; in questi casi le esche virtuali possono costituire un'alternativa. Qualora la presenza di roditori di piccola taglia si verifichi con una certa frequenza, è il caso di accrescere la densità dei dispositivi, intensificando i controlli, che dovranno avere frequenza almeno settimanale. In tali situazioni, tuttavia, contemporaneamente all'adozione delle necessarie misure di lotta, devono essere individuati i punti critici della struttura, con particolare riguardo agli eventuali accessi alle aree interne. Va inoltre seriamente valutata la possibilità di ricorrere alle esche tossiche, almeno per un periodo di tempo definito. 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. Allo scopo di ampliare la gamma delle opzioni disponibili e dovendo aggirare il problema della diffidenza da parte dei soggetti adulti verso ogni novità alimentare, è meglio abbinare alle esche quelle trappole che, come verrà riportato di seguito, uccidono i roditori grazie al potente meccanismo di scatto.

5.3.2.d Dispositivi di cattura

L'uso di trappole - soprattutto per l'assenza di intossicazioni e contaminazione dell'ambiente - costituisce la tecnica con il miglior rapporto tra rischio ed efficacia. Per questo oggi per il controllo dei roditori si fa largamente ricorso ai congegni di cattura laddove vi sia la necessità di elevati standard di efficacia e al contempo di adeguati livelli di sicurezza, come nel caso degli stabilimenti che producono e conservano alimenti. Nello specifico contesto degli archivi è necessario premettere che, a meno di situazioni di particolare degrado, è poco probabile riscontrare la presenza delle due specie di ratti. Le trappole meccaniche sono adeguatamente efficaci nei riguardi del topo domestico, mentre non lo sono altrettanto nei confronti dei ratti. Inoltre, non essendo luoghi dove si conservano alimenti, le popolazioni infestanti non raggiungono di solito densità particolarmente elevate e possono essere adeguatamente controllate.

Le trappole cosiddette “di curiosità”, come accennato, presentano il vantaggio di non introdurre all’interno degli archivi sostanze alimentari a base di cereali o altre di origine vegetale o animale che, se non sostituite di frequente, presentano l’inconveniente di favorire lo sviluppo di vari organismi potenzialmente dannosi, soprattutto insetti.

I dispositivi di cattura devono essere collocati innanzitutto ai due lati di ciascun ingresso o apertura sfruttabile dai roditori, con l’obiettivo di intercettare gli animali fin dal loro arrivo. Inoltre devono essere posti capillarmente in tutta l’area da proteggere e a distanze orientativamente comprese tra 3 e 15 m, con i valori più alti da utilizzare solo nel caso di poco probabile presenza di roditori. Il numero di catture nelle varie postazioni offre informazioni molto attendibili sulle aree maggiormente frequentate dai roditori e, opportunamente visualizzato sulla mappa della struttura, permette di risalire ai principali punti di entrata, alle fonti alimentari e ai percorsi più utilizzati. L’esame di questi dati supporta la scelta nell’adozione delle più opportune misure di esclusione e degli interventi finalizzati alla riduzione della capacità portante dell’ambiente. Come si è citato, benché esistano modelli di trappole a cattura multipla (fig. 5.4) molto efficaci nei confronti del topo domestico, risolvere un’infestazione di ratti ricorrendo a dispositivi di cattura è assai arduo a causa dell’estrema diffidenza che manifestano soprattutto gli individui adulti.

Esistono tuttavia alcuni tipi di trappole che possono essere adottate, ad integrazione delle esche tossiche, nei confronti delle popolazioni di ratti di entrambe le specie. Si tratta delle trappole a scatto delle quali si è appena accennato, ma che a causa della pericolosità del meccanismo dovrebbero essere impiegate all’interno di apposite protezioni. Bisogna inoltre considerare che se una struttura alberga al proprio interno una popolazione di ratti, con tutta probabilità ciò significa che le misure di esclusione in atto sono assai precarie.

5.3.2.e Esche tossiche

Qualora l’utilizzo di esche rodenticide venga ritenuto opportuno, in virtù della loro elevata pericolosità, queste devono essere protette all’interno di un erogatore che garantisca un adeguato livello di sicurezza. Gli erogatori dovranno avere forma e dimensioni adatte per risultare confortevoli consentendo, così, ai roditori la possibilità di assumere la dose letale del principio attivo (figg. 5.5 e 5.6). Devono essere fissati, tenendo conto del fatto che questi animali sono soliti transitare lungo le pareti piuttosto che avventurarsi allo scoperto. La posizione di tali dispositivi deve essere riportata su una piantina in scala, nonché segnalata *in loco* da appositi cartelli muniti di numero progressivo e indicanti il pericolo costituito dalla presenza dell’esca tossica. Non va trascurata l’importanza di riportare sui cartelli il principio attivo utilizzato e l’eventuale antidoto da somministrare in caso di accidentali intossicazioni umane.

La formulazione dell’esca deve rispettare un giusto compromesso fra durezza, appetibilità e difficoltà di traslocazione da parte dei roditori. Sono perciò particolarmente indicate le esche paraffinate in blocchi e di elevata qualità, contenenti cioè bassi quantitativi di paraffina. Si aggiunga che alla luce di recenti disposizioni ministeriali (si veda l’Ordinanza Ministeriale 18 dicembre 2008 recante “Norme sul divieto di utilizzo e di detenzione di esche o di bocconi avvelenati” e ss.mm.ii.) l’uso di tali formulazioni è divenuto ormai imprescindibile. I principi attivi da impiegare sono appartenenti alla categoria degli anticoagulanti, tra i quali è opportuno prediligere quelli della seconda generazione, quali bromadiolone, difenacoum, brodifacoum, flocoumafene e difetialone. Ciò soprattutto in virtù della maggiore efficacia che dimostrano nei riguardi delle specie commensali, anche se ai primi due prodotti i roditori sono in grado comunque di sviluppare resistenza (Lodal, 2001; Pelz *et al.*, 2005).



Fig. 5.4 - Trappola a cattura multipla per il Topo domestico



Fig. 5.5 - Erogatore di esche con all'interno un blocchetto paraffinato che viene fissato per maggiore sicurezza in modo da evitare la traslocazione da parte dei roditori



Fig. 5.6 - Esche rodenticide in formulazione di blocchetti paraffinati

Capitolo 6

Problemi sanitari per gli addetti al settore

Marianna Adamo, Ubaldo Cesareo

Il rischio biologico, o anche biorischio, si riferisce a organismi e sostanze di origine biologica (microrganismi, virus, tossine o materiali di varia natura infetti o contaminati), potenzialmente dannosi per qualsiasi essere vivente, in grado di provocare infezioni, allergie o intossicazioni. Il Testo Unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro (D.Lgs n. 81/2008) definisce, nell'articolo n. 267 (Titolo X, Esposizione ad agenti biologici, Capo I), il rischio biologico formalmente in questo modo: a) agente biologico - qualsiasi microrganismo anche se geneticamente modificato, coltura cellulare ed endoparassita umano che potrebbe provocare infezioni, allergie o intossicazioni, b) microrganismo - qualsiasi entità microbiologica, cellulare o meno, in grado di riprodursi o trasferire materiale genetico. Nel Decreto e in particolare nell'Allegato XLVII, i microrganismi vengono elencati in 4 categorie di crescente pericolosità.

Tuttavia, in senso meno restrittivo e ai fini di una reale e completa valutazione dei rischi presenti in un luogo di lavoro, andrebbero considerati "agenti biologici" ugualmente organismi potenzialmente pericolosi (anche sotto forma di vettori) appartenenti ad altre categorie come ad esempio gli Artropodi (che comprendono tra l'altro Insetti, Aracnidi, Crostacei ecc.), gli animali vertebrati, piante e i prodotti degli organismi stessi (come setole ed esuvie di insetti, peli, forfore, escrementi, pollini ecc.). Tutti questi organismi viventi, o parti di essi ecc., di natura assai diversa, in svariate condizioni e modalità possono rappresentare un rischio biologico e arrecare danni alla salute dell'uomo anche nei luoghi di lavoro. Tale possibilità diventa sempre più concreta se si pensa che negli ambienti *indoor* la concentrazione degli inquinanti biologici è solitamente maggiore rispetto a quella *outdoor*; tale fenomeno è causato dall'assenza della dispersione naturale che avviene abitualmente nelle aree aperte e dall'apporto derivante da fonti interne (Pasquariello *et al.*, 2008). Infatti, molti studi hanno dimostrato come la biocontaminazione degli ambienti di conservazione e del bene culturale stesso non sia legata strettamente solo ai microrganismi presenti nell'aria ma anche ad altre fonti di trasmissione: impianti di climatizzazione e ventilazione, condizionatori d'aria e deumidificatori, manutenzione assente o non sufficiente delle strutture e degli arredi, polvere, ristagno di acqua e umidità, presenza o introduzione di manufatti infetti, insetti infestanti e attività collegate all'uomo (Moroni *et al.*, 2011).

La qualità dell'aria *indoor* è influenzata non solo dagli inquinanti biologici ma anche da quelli chimici e fisici, le cui concentrazioni sono variabili nel tempo perché strettamente correlate alle sorgenti presenti nell'edificio, alla natura dei materiali esposti nell'ambiente di conservazione, alle attività che vi si svolgono e alla dinamica di circolazione e di ricambio dell'aria. Principali fonti di contaminanti sono ad esempio i materiali da costruzione, gli arredi, i condizionatori dell'aria così come i prodotti utilizzati per la pulizia dei locali o quelli antiparassitari, colle, adesivi, solventi e persino l'utilizzo di strumenti di lavoro quali stampanti, plotter e fotocopiatrici; non ultimo le sostanze emanate dai materiali fotografici stessi. Ulteriori inquinanti possono penetrare all'interno, soprattutto in caso di elevato inquinamento *outdoor*, attraverso fessurazioni nelle strutture edilizie, in corrispondenza degli infissi, per il malfunzionamento del sistema di ventilazione ecc.

Pertanto stabilire il grado di inquinamento finale di un ambiente *indoor* risulta molto complicato non solo perché dipende da molteplici fattori tra cui temperatura e umidità dell'aria ma anche in considerazione del fatto che molti beni conservati possono comportarsi da adsorbitori di sostanze che vengono così rimosse dall'ambiente. Gli inquinanti chimico-fisici possono avere effetti sia sull'uomo sia sui materiali custoditi ma, data la vastità e complessità dell'argomento, si rimanda tale trattazione alla letteratura specializzata.

6.1 La componente biologica dell'aria

Marianna Adamo

Negli ambienti confinati, la componente biologica dell'aria, il cosiddetto "aerosol biologico" rappresenta un importante veicolo di infezione e di biodeterioramento. Esso contiene spore di funghi e batteri, propaguli lichenici, cellule algali, granuli di polline, cisti di protozoi, frammenti di insetti, forfora e scaglie cutanee, virus ecc., tutti elementi che potrebbero causare non solo patologie a carico della popolazione umana ma anche danni ai beni culturali (Pasquariello, 2011). Con lo scopo di rendere gli spazi conservativi e lavorativi più idonei possibili, sia per i materiali sia per gli operatori, negli anni è stata rivolta un'attenzione sempre maggiore alla valutazione dell'ambiente e al suo rapporto con gli oggetti ivi custoditi, analizzando non solo i parametri microclimatici ma anche quelli chimico-biologici compresi gli inquinanti dell'aria. Della componente biologica dell'aria se ne occupa l'"aerobiologia", disciplina scientifica che studia la liberazione, la dispersione e il trasporto delle particelle costituenti l'aerosol biologico e gli effetti che esse provocano. Le indagini aerobiologiche forniscono, infatti, informazioni sulle principali vie d'accesso dei biodeteriogeni, sul riconoscimento dei vettori e delle modalità di diffusione, sulle zone di massima concentrazione, sui periodi giornalieri o stagionali di maggiore rischio e infine sui possibili effetti nei confronti degli operatori del settore (conservatori, restauratori, personale tecnico), dei visitatori e dei fruitori (Pasquariello *et al.*, 2008). I monitoraggi aerobiologici, associati a operazioni periodiche di depolveratura e a controlli microclimatici, possono rappresentare validi metodi di controllo e prevenzione negli ambienti confinati ove si custodiscono beni archivistici e librari. Con gli studi aerobiologici è stato possibile dimostrare, infatti, che nella polvere risultano aerodispersi peli, setole, frammenti di alcune specie di insetti o addirittura insetti di piccolissime dimensioni.

Sfortunatamente a rendere la situazione ancora più problematica è la dislocazione di molte collezioni fotografiche in strutture non idonee che possono favorire la proliferazione e la diffusione di biodeteriogeni e divenire quindi una minaccia per la salute degli addetti e per la conservazione delle collezioni stesse. Ne consegue pertanto che gli operatori del settore e gli utenti sono diversamente esposti a tale rischio in relazione alle rispettive attività svolte e alle condizioni dell'ambiente lavorativo. Infatti il biorischio nei luoghi confinati è da ricondurre, come accennato, alla esposizione potenziale ad agenti biologici presenti nell'aria, negli arredi e contenitori o sui materiali fotografici.

Negli ultimi anni, in tutti i settori lavorativi, è andata sempre più crescendo la consapevolezza dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori; il D.Lgs n. 626/1994 seguito dal D.Lgs. n. 81/2008 e dalla modifica Accordo Stato-Regioni del 21 dicembre 2011, prevedono tra l'altro la valutazione e la prevenzione dei rischi da agenti biologici negli ambienti di lavoro e per le conseguenti attività lavorative, ivi comprese quelle nel settore dei beni culturali. Gli obiettivi del decreto sono volti ad assicurare la salvaguardia della sicurezza e della salute dei lavoratori con la valutazione di tutti i rischi presenti nel luogo di lavoro e ad impedire il verificarsi di infortuni e malattie professionali.

Per gestire, valutare e contenere tale rischio, la normativa D.Lgs. n. 81/2008 prevede una serie di disposizioni e misure regolamentari tra cui l'adozione di opportune procedure lavorative, l'utilizzo di misure protettive a livello collettivo e/o personale, l'impiego di segnaletiche adeguate, nonché la realizzazione di corsi di informazione e formazione del personale in modo che ogni dipendente venga informato e formato a svolgere in sicurezza le attività di propria competenza.

Anche l'Atto di Indirizzo del 2001, pone l'accento sulla necessità di effettuare studi su metodi e tecniche d'indagine e prevenzione del rischio biologico nel settore dei beni culturali.

Il rischio biologico è difficilmente quantificabile per l'assenza di procedure standardizzate, di relazione dose-effetto e di valori limite di esposizione ben definiti, pertanto risulta necessario, a scopo precauzionale, adottare tutte le possibili misure di prevenzione e protezione individuale per impedire il contatto con le forme biologiche potenzialmente pericolose (ECA, 1989). Nell'ambito degli effetti sulla salute, in termini generali, si può affermare che esistono patologie per le quali si può riconoscere un agente eziologico definito e patologie non specifiche a cui non è possibile correlarne alcuno, tanto più che generalmente i danni da rischio biologico vengono ampliati dalla somma e dal sinergismo dei vari elementi contaminanti e/o infestanti (CEFMECTP, 2008). Negli Stati Uniti d'America opera l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) che si occupa di fornire indicazioni per garantire la massima sicurezza e salubrità nei luoghi di lavoro e le cui direttive hanno spesso una ricaduta a livello internazionale.

Generalmente quando si tratta di rischio biologico si fa riferimento esclusivamente alla presenza di microrganismi ad attività cellulosolitica e proteolitica come microfunghi (*Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Stachybotris*, *Candida* ecc.) e batteri (*Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* ecc.) (CEFMECTP, 2008).

Nota è la "Sindrome da Edificio Malato" conosciuta anche come "Sick Building Syndrome" (SBS), che descrive situazioni in cui gli occupanti di un edificio possono lamentare generici disturbi di salute non riconducibili ad una malattia e/o ad una causa specifica ma che vengono avvertiti solo durante la permanenza all'interno, la maggior parte dei sintomi svanisce o si attenua fortemente dopo l'allontanamento dallo stabile (Tarsitani, 2005). Le persone colpite lamentano irritazioni agli occhi, al naso, alle vie respiratorie e occasionalmente alla pelle nonché sintomi generali come mal di testa, stanchezza, malessere, vertigini e difficoltà di concentrazione (Godish, 2001). La "Malattia Correlata all'Edificio" o "Building Related Illness" (BRI) si riferisce invece, a patologie aventi un quadro clinico ben definito, come la legionellosi, l'alveolite allergica e altre comuni allergie, per le quali l'agente causale può essere identificato. Gli agenti biologici aerodispersi negli ambienti confinati, in grado di causare patologie nell'uomo e considerati, quindi, un rischio per la salute, comprendono alcuni batteri, funghi e loro residui (endotossine, micotossine), peli, spore, virus, acari e pollini. Le manifestazioni non si risolvono rapidamente abbandonando l'ambiente (Anzidei *et al.*, 2010).

6.2 Il rischio correlato ad artropodi di interesse

Marianna Adamo, Ubaldo Cesareo

Come anticipato all'inizio del capitolo, oltre ai microrganismi, anche alcuni artropodi o parti di essi rappresentano un rischio sanitario da non sottovalutare in quanto è risaputo che tutti i contaminanti, presenti nell'aria, sui beni o al loro interno, sono in grado di arrivare all'uomo principalmente per inalazione, contatto e ingestione causando

danni a vari livelli (INAIL, 2010). Infatti, quando si prende in esame l'entomofauna presente nei locali di conservazione, oltre a considerare il grave rischio di deterioramento che certe specie rappresentano per i materiali conservati, va ricordato che alcune di esse sono la causa di problemi sanitari per le persone che frequentano i locali (Ruschioni *et al.*, 2005, 2007). Ad esempio taluni insetti (o altri artropodi) possono causare punture, fenomeni irritativi o allergici per contatto con gli insetti stessi o con loro parti o escrezioni, oppure essere vettori di patogeni.

Negli archivi fotografici, così come in tutti gli ambienti di conservazione (e in modo particolare se non vengono rispettate le basilari norme di conservazione), può essere presente un'entomofauna legata ai documenti e una cosiddetta occasionale. Alla prima appartengono gli insetti dannosi ai beni conservati e i loro nemici naturali, mentre della seconda fanno parte, invece, quelli entrati casualmente (come ad esempio Ditteri, Emitteri e certi Imenotteri).

Nel presente contributo vengono presi in considerazione soltanto i principali insetti, e altri artropodi, direttamente legati all'ambiente di conservazione che possono rappresentare un problema sanitario per gli operatori del settore e per i fruitori degli archivi fotografici. In particolare, per gli insetti si fa riferimento a Psocotteri, Blattoidei, Coleotteri Dermestidi, Imenotteri Betilidi (principalmente del genere *Scleroderma*) e Afanitteri; per gli aracnidi alle zecche (in particolare *Argas reflexus*), agli Acari Prostigmati del genere *Pyemotes* e ad alcuni Acari Astigmati quali *Acarus siro* e *Glycyphagus domesticus*. Non sono trattati, invece, artropodi occasionali come ad esempio i Ditteri (principalmente mosche, zanzare e flebotomi) che, sebbene possano rappresentare un problema sanitario per l'uomo, non sono riconosciuti come infestanti legati ai materiali fotografici o ai loro luoghi di conservazione.

L'unica strategia preventiva inerente i problemi sanitari causati è evitare o eliminare le infestazioni (vedi capitoli 3 e 4). Gli Psocotteri (fig. 6.1) possono causare eruzioni cutanee (eritemato-pomfoidi o papulo-eritematose) accompagnate da forte prurito. Ancora non è noto se la causa di queste manifestazioni cliniche sia il morso di tali insetti o, più probabilmente, il contatto con la pelle di sostanze rilasciate dal loro schiacciamento (Magliano, 2003). Sono capaci di procurare, inoltre, reazioni allergiche cutanee (anche di forte intensità) ed è possibile sviluppare sensibilizzazione a seguito di ripetuti contatti. Inoltre gli Psocotteri (come ad esempio *Liposcelis bostrichophila*) possono provocare asma di natura allergica (Fukutomi *et al.*, 2012). A questo proposito si ricorda che sono insetti di piccolissime dimensioni (generalmente 2-3 mm di lunghezza) e individui interi e/o loro parti possono essere componenti della polvere *indoor* e venire dispersi nell'aria comportandosi da allergeni.

I Blattoidei sono stati riconosciuti come causa diretta di allergie ed asma (Mazzotti & Pampiglione, 1999; Chiappini *et al.*, 2001). Gli allergeni sebbene si trovino nelle feci, nelle secrezioni e sul corpo di questi insetti, con la movimentazione della polvere si disperdono diventando volatili e quindi ubiquitari. Tali insetti vengono considerati, inoltre, come possibile veicolo di vari agenti patogeni quali batteri, virus, protozoi, elminti e microfunghi (Mazzotti & Pampiglione, 1999); possono ad esempio veicolare Streptococchi, Stafilococchi, *Escherichia coli*, Clostridi, virus dell'epatite virale ecc.

L'importanza sanitaria dei Dermestidi è principalmente dovuta alle larve (fig. 6.2) che rilasciano nell'ambiente circostante setole, peli ed esuvie (figg. 6.3 e 6.4); tali elementi risultano urticanti e possono provocare fenomeni irritativi alle persone con cui vengono in contatto scatenando, in alcuni casi, delle vere e proprie allergie (Chiappini *et al.*, 2001; Feo Brito *et al.*, 2002). Peli, setole ed esuvie, a causa delle loro piccole dimensioni, si trovano dispersi nell'aria e provocano orticaria, dermatiti, congiuntiviti e, se inalati, irritazioni e altri disturbi alle vie respiratorie (riniti, asma, dispnea ecc.).



Fig. 6.1 - Psocottero su trappola collata



Fig. 6.2 - Larva di *Attagenus* sp. su trappola collata



Fig. 6.3 - Larva di *Anthrenus* sp. su trappola collata



Fig. 6.4 - Residui larvali di *Anthrenus* sp. su trappola collata

Infine, si segnala che molti Dermestidi (ad es. *Anthrenus*, *Attagenus* e *Dermestes*), nutrendosi di carogne e altro materiale di origine animale infetto, possono essere un possibile veicolo di agenti patogeni. Tuttavia negli ambienti di conservazione la possibilità che i dermestidi rappresentino un pericolo come diffusori di patogeni appare piuttosto remota.

Gli Imenotteri appartenenti alla famiglia dei Betilidi costituiscono un problema sanitario in strutture infestate da coleotteri di cui sono parassitoidi. In particolare infestazioni da Coleotteri Anobidi (i comuni tarli) possono rappresentare un rischio oltre che per i beni conservati e le strutture lignee, anche indirettamente per la salute umana dato che nei luoghi frequentati da questi insetti è possibile subire delle punture dolorose da parte di Betilidi appartenenti al genere *Sclerodermus* (= *Scleroderma*) piccoli insetti nerastrì (2-3 mm di lunghezza), spesso confusi con le formiche (fig. 6.5). In ambienti di conservazione sono generalmente segnalate le specie *Sclerodermus domesticus* (= *Scleroderma domesticum*) e *Sclerodermus brevicornis* (= *Scleroderma brevicorne*). In Italia la presenza di *S. domesticus* viene osservata fin dagli anni '30, dopo diverse descrizioni di lesioni da punture che si erano verificate in Africa tra gli anni '20 e '40; la biologia di questo insetto viene studiata negli anni '40 (Saccà, 1940b) e negli anni '50 si arriva a un riconoscimento dell'interesse medico nei confronti del microimenottero e delle punture che esso arreca.

Le femmine di scleroderma si insinuano nelle gallerie scavate nel legno dalle larve degli anobidi e, iniettando una sorta di veleno mediante un aculeo, le immobilizzano utilizzandole poi come alimento (succhiando l'emolinfa che fuoriesce dalle ferite provocate con le mandibole) e come substrato su cui verranno deposte le uova. Le larve di scleroderma, dopo la schiusa, si nutriranno anch'esse delle larve immobilizzate dei tarli. In assenza di maschi, la femmina che ha vita molto lunga, depone uova non fecondate da cui si origineranno individui di sesso maschile con i quali essa potrà accoppiarsi generando progenie femminile (che quindi deriva da uova fecondate) (Saccà, 1941). Sono proprio le femmine di *Sclerodermus* (i maschi sono sprovvisti di aculeo) a provocare le punture sull'uomo; tali punture molto dolorose e pruriginose, generalmente provocano ponfi di vasta superficie e di lunga durata. Sono stati segnalati anche casi accompagnati da forti pruriti, gonfiori diffusi o addirittura febbre (Saccà, 1973; Principato & Polidori, 1995; Principato, 2000; Chiappini *et al.*, 2001).

La presenza di scleroderma non è da sottovalutare in quanto questi insetti possono riprodursi indisturbati all'interno degli ambienti e il controllo è strettamente connesso alla lotta ai tarli e alla prevenzione della loro presenza. Eliminando, infatti, la popolazione di tarli si risolverà anche l'infestazione dei parassitoidi venendo a mancare le condizioni idonee per il loro sviluppo.

Negli ultimi anni è stata rilevata la presenza *indoor* sempre più frequente di un altro Betilide: *Cephalonomia gallicola*. Un piccolissimo imenottero (2 mm di lunghezza) dal colore marrone rossiccio, ectoparassitoide di larve di coleotteri (come ad esempio *Lasioderma serricornis* e *Stegobium paniceum*), le cui femmine attere sono in grado di provocare dolorose punture e dermatiti nell'uomo (Lim *et al.*, 2007; Fiorente, 2011).



Fig. 6.5 - *Sclerodermus* sp. su trappola collata

In Italia, sono stati segnalati anche casi di dermatiti causate da *Allepyris ruficrus* imenottero (di 3-5 mm) parassita larvale di coleotteri infestanti appartenenti agli Anobidi (ad es. *Anobium* e *Stegobium*) e ai Dermestidi (ad es. *Anthrenus* e *Attagenus*) e quindi potenzialmente presente anche in ambienti di conservazione. Le dermatiti provocate da *A. ruficrus* sono caratterizzate da elementi eritemato-papulosi, a tratti con vescicolazione centrale ed accompagnate da intenso prurito (Principato & Lapomarda, 2005).

Si fa anche un accenno agli Afanitteri insetti ematofagi noti col nome comune di pulci, strettamente correlati alla presenza di roditori (ratti e topi). Afanitteri che parassitano i roditori (come ad esempio la pulce dei ratti *Xenopsylla cheopis*), 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* che può anche essere trasmessa alla prole per via transovarica) (vedi paragrafo 6.4). Le pulci, infine, possono essere ospiti intermedi di parassiti, come i cestodi del genere *Hymenolepis*, in grado di parassitizzare anche l'uomo (Bortoletti, 1973; De Carneri, 1997).

Altri Artropodi, in grado di arrecare danno alla salute umana sono gli Acari; questi appartengono agli aracnidi che comprendono oltre ai comuni acari, generalmente piccoli o piccolissimi, anche le Zecche di dimensioni maggiori. Negli ambienti di conservazione infestati da Coleotteri Anobidi possono essere presenti gli Acari del genere *Pyemotes*, difficilmente visibili a occhio nudo in quanto di dimensioni variabili da 0,2 a 1 mm. In particolare le specie del gruppo *ventricosus*, parassiti di anobidi e di altri insetti, possono pungere l'uomo e provocare dermatiti caratterizzate da rash eritematoso associato a prurito intenso con maculopapule accompagnate generalmente da vescicola centrale. Al momento della puntura non si avverte dolore e gli effetti possono manifestarsi anche dopo 12-16 ore (Principato, 1998). Oltre alle macule "classiche" sono anche state descritte macule associate con tratti lineari definite da alcuni Autori "segni a cometa" (Del Giudice *et al.*, 2008) e, in certi casi, si può arrivare alla presenza di pustole. Inoltre non è rara la comparsa di febbre (Meinieri, 1973; Taddei *et al.*, 2005), cefalee, dolori alle giunture, vomito e perdita di appetito (Castagnoli, 1987; Corazza *et al.*, 2014). Sono stati segnalati altresì casi di asma bronchiale di tipo allergico a seguito della sensibilizzazione della mucosa a *P. ventricosus* (Levi Luxardo & Nazzaro, 1973).

Altri acari legati ad infestanti sono le zecche (Ixodida); in particolare la zecca molle *Argas reflexus* (5-8 mm), parassita dei piccioni, si può ritrovare nei locali da loro infestati. La zecca può pungere l'uomo e, oltre a determinare reazioni flogistico/tossiche e allergiche (pure severe), è capace di trasmettere malattie anche gravi quali ad esempio la febbre Q e l'encefalite (Domenichini & Crovetto, 1989; Principato, 1998; Ruschioni, 2002).

Infine, sono segnalati come possibili infestanti in ambienti di conservazione gli Acari Astigmati *Acarus siro* e *Glycyphagus domesticus* (Pinniger, 2001). Questi possono essere causa di patologie cutanee e di reazioni allergiche anche forti. In particolare *Acarus siro* può provocare dermatiti con eruzioni microvescicolari, micropustolose o eritemato-papulose e in certi casi si può arrivare a una "falsa scabbia", inoltre può essere coinvolto nell'asma bronchiale (Principato, 1998). *Glycyphagus domesticus* è fortemente allergizzante e può essere legato all'asma bronchiale; questo acaro è in grado inoltre di determinare prurito diffuso e insistente, eruzioni microvescicolari e pustolose e non di rado lesioni che simulano perfettamente la scabbia (Principato, 1998).

Nella tabella 6.1 sono riassunti i principali problemi sanitari dovuti agli artropodi trattati, le strategie di conservazione preventiva (vedi capitolo 3), gli specifici metodi di lotta (trattamenti disinfestanti maggiormente utilizzati) (vedi paragrafi 4.1.3 e 4.2.1). Sono schematizzate anche le strategie relative alla fauna ornitica (vedi paragrafo 5.2).

Tabella 6.1 - Artropodi infestanti e principali problemi sanitari correlati, strategie preventive e metodi di lotta

ARTROPODI E PROBLEMI SANITARI CORRELATI	STRATEGIE DI CONSERVAZIONE PREVENTIVA	METODI DI LOTTA E MISURE PREVENTIVE FONDAMENTALI
<p>Psocotteri</p> <p>Eruzioni cutanee, allergie ed asma.</p>	<p>Mantenimento di idonei valori termoi-grometrici (in particolare bassa umidità). Depolveratura periodica dei locali e degli alloggiamenti.</p> <p>Igiene dei locali.</p> <p>Ispezione e quarantena dei materiali in entrata.</p> <p>Monitoraggi periodici (ispezioni e posizionamento di trappole) nei locali di conservazione.</p> <p>Esami delle polveri nei locali.</p>	<p>Atmosfere modificate/controllate sul materiale (in caso di grave infestazione).</p> <p>Depolveratura del materiale infestato.</p> <p>Deumidificazione dei locali.</p> <p>Igiene dei locali.</p>
<p>Blattoidei</p> <p>Allergie ed asma.</p> <p>Possibili portatori di organismi patogeni.</p>	<p>Mantenimento di idonei valori termoi-grometrici (in particolare bassa umidità). Verifica dell'assenza (eventuale eliminazione) di possibili luoghi di accesso e/o rifugio.</p> <p>Igiene dei locali (soprattutto evitare il consumo di alimenti).</p> <p>Monitoraggi periodici (ispezioni e posizionamento di trappole) nei locali di conservazione.</p>	<p>Insetticidi a basso impatto ambientale e lunga persistenza. Ri-sanamento ambientale.</p> <p>Igiene dei locali.</p>
<p>Coleotteri Dermestidi</p> <p>Fenomeni irritativi e allergici della pelle, degli occhi e delle vie respiratorie (dermatiti, orticaria, congiuntiviti, riniti, asma ecc.).</p>	<p>Sistemazione di dispositivi anti-ingresso.</p> <p>Ispezione e quarantena dei materiali in entrata.</p> <p>Igiene dei locali (soprattutto evitare di consumare alimenti).</p> <p>Monitoraggi periodici (ispezioni e posizionamento di trappole) nei locali di conservazione.</p>	<p>Atmosfere modificate/controllate sul materiale.</p> <p>Igiene dei locali.</p>
<p>Imenotteri Betilidi² (<i>Sclerodermus spp.</i>, <i>Cephalonomia gallicola</i>, <i>Allepyris ruficrus</i>) Parassitoidi di insetti dannosi (Coleotteri Anobidi).</p> <p>Punture (possono provocare ponfi, forti pruriti, dermatiti e molto più raramente gonfiori diffusi e febbre).</p>	<p>Accertamento dell'assenza di Anobidi nei locali e in caso contrario applicazione tempestiva di opportuni metodi di lotta.</p> <p>Igiene dei locali.</p> <p>Ispezioni e quarantena dei materiali in ingresso.</p> <p>Monitoraggi periodici (ispezioni e posizionamento di trappole) nei locali di conservazione per Betilidi e/o Anobidi.</p> <p>Esami delle polveri nei locali.</p>	<p>Atmosfere modificate/controllate sul materiale infestato dai Betilidi e dai loro ospiti (Coleotteri Anobidi).</p> <p>Igiene dei locali.</p>
<p>Afanitteri² Parassiti di roditori e di altri mammiferi.</p> <p>Punture, possibili vettori di organismi patogeni.</p>	<p>Accertamento dell'assenza di roditori nei locali.</p> <p>Verifica dell'assenza (eventuale eliminazione) di possibili luoghi di accesso e/o rifugio.</p> <p>Igiene dei locali.</p> <p>Monitoraggi periodici.</p>	<p>Eliminazione delle infestazioni da roditori con idonei dispositivi e metodi di lotta.</p> <p>Disinfestazione (con insetticidi) dei locali.</p> <p>Igiene dei locali.</p>
<p>Acari² <i>Pyemotes spp.</i> del "gruppo <i>ventricosus</i>" Parassita di insetti dannosi (ad es. Coleotteri Anobidi).</p>	<p>Accertamento dell'assenza di Anobidi nei locali e in caso contrario applicazione tempestiva di opportuni metodi di lotta.</p> <p>Igiene dei locali.</p>	<p>Atmosfere modificate/controllate sul materiale infestato da <i>Pyemotes</i> e dai suoi ospiti (Anobidi).</p>

Dermatiti (eruzione urticarioide con maculo papule e prurito intenso) spesso accompagnate da febbre.	Ispezioni e quarantena dei materiali in ingresso. Monitoraggi periodici (ispezioni e posizionamento di trappole) nei locali di conservazione per evidenziare la presenza di Anobidi. Esami delle polveri nei locali.	Deumidificazione dei locali. Igiene dei locali.
Argas reflexus Parassita di uccelli (piccioni). Reazioni flogistico/ tossiche e allergiche. Possibile vettore di agenti patogeni.	Accertamento della presenza di piccioni mediante ispezioni; eventuale adozione di misure dissuasive anti-sosta, di chiusura di cavità nido e di spazi sosta con reti o altri mezzi. Verifica assenza ed eventuale eliminazione di crepe o altri punti di rifugio per <i>Argas</i> . Igiene dei locali. Monitoraggi periodici.	Eliminazione delle infestazioni da piccioni (chiusura cavità nido, utilizzo dissuasori ecc.). Disinfestazione dei locali. Igiene dei locali.
Acarus siro e Glycyphagus domesticus Allergie (causa anche di asma bronchiale), patologie cutanee (dermatiti e falsa scabbia).	Mantenimento di idonei valori termoisometrici (in particolare bassa umidità). Depolveratura periodica del materiale. Igiene dei locali. Ispezioni e quarantena dei materiali in entrata. Monitoraggi periodici. Esami delle polveri nei locali.	Atmosfere modificate/controllate sul materiale. Disinfestazione con acaricidi. Igiene dei locali. Deumidificazione dei locali.

¹ Metodi più utilizzati *in situ* in caso di infestazioni sono le atmosfere modificate/controllate e gli insetticidi. La soluzione deve essere valutata di volta in volta a seconda del bene e dell'infestante.

² Artropodi non dannosi per il materiale fotografico.

6.3 Il rischio da insetticidi

Marianna Adamo

L'applicazione di un biocida, in una qualsiasi sua formulazione, lascerà residui della sostanza chimica o dei suoi prodotti di degradazione sul bene trattato e/o nell'ambiente ove è avvenuto l'intervento. L'esposizione a tali sostanze, che può avvenire per contatto, inalazione o ingestione, potrebbe determinare conseguenze negative sulla salute umana. È noto infatti che i pesticidi possono avere effetti carcinogenici e allergici, determinare sterilità, difetti alla nascita, possono agire sul sistema nervoso centrale ecc. (Thacker, 2002). Sebbene la tendenza generale sia quella di formulare biocidi ecosostenibili e non pericolosi per l'uomo, tale preoccupazione riguarda soprattutto quei prodotti, ora banditi o non più in uso (DDT, aldrin, clordano ecc.), molto persistenti e i cui residui potrebbero essere presenti ancora sui beni trattati anni addietro, dato che ogni oggetto è in grado di assorbire sostanze e vapori e trattenerli per tempi lunghissimi.

Purtroppo, nell'ambito dei beni cartacei, la documentazione disponibile relativa all'uso di sostanze chimiche biocide risulta scarsa e in alcuni casi addirittura inesistente, quindi la manipolazione così come la consultazione di beni antichi potrebbe rappresentare un rischio a tutti gli effetti. La presenza di polveri, cristalli, colorazioni anomale o comunque di alterazioni non identificabili impongono la massima cautela nella manipolazione di beni sospetti ricorrendo anche all'uso di dispositivi di protezione individuale e all'aiuto di esperti in medicina del lavoro che stabiliscono le prospettive di rischio e pericolo in una data situazione lavorativa. In maniera marginale il problema potrebbe coinvolgere anche i fruitori a causa di contatti occasionali.

Poiché il rischio da esposizione è strettamente correlato alla tossicità e alla concentrazione del biocida, alla durata e alla frequenza di esposizione, sarebbe utile identificare gli oggetti potenzialmente pericolosi in quanto, accertando la natura chimica del residuo e/o dei prodotti di degradazione del biocida, si potrebbe determinare la significatività del pericolo stesso.

Sebbene sia noto già da tempo che l'uso di pesticidi è correlabile al rischio chimico, soltanto negli ultimi anni la questione dei loro residui è diventata oggetto di discussione e di ricerca. Maggiore interesse hanno dato a questo argomento le decisioni prese negli Stati Uniti d'America con il "National Museum of the American Indian Act" del 1989 e il "The Native American Graves Protection and Repatriation Act" del 1990. Secondo tali statuti la restituzione del patrimonio culturale delle rispettive tribù ai Nativi Americani deve essere accompagnata da documentazione informativa circa qualsiasi trattamento di bonifica "effettuato con pesticidi, preservanti o altre sostanze che possano costituire pericolo agli oggetti o alle persone che li manipolano" [43 Code of Federal Regulations, 10.10 (4) c]. La necessità di rispettare la legislazione e la preoccupazione per i pericoli che tali sostanze potrebbero comportare hanno dato nuovo impulso a programmi di ricerca finalizzati all'identificazione del pesticida e alla gestione del potenziale rischio per la salute degli operatori così come dei visitatori (Madden *et al.*, 2010).

La registrazione di eventuali trattamenti eseguiti in passato può aiutare alla determinazione di quali composti dovranno essere ricercati; in tale ambito notevole preoccupazione desta il campionamento perché molte volte risulta distruttivo e non rappresentativo. Indagini diagnostiche per verificare la presenza di elementi chimici con numero atomico uguale o maggiore di 20 possono essere eseguite senza campionamento utilizzando uno spettrometro portatile a fluorescenza (XRF). Per la maggior parte dei pesticidi inorganici, risultati di tipo quantitativo sono possibili per arsenico, mercurio o composti del piombo utilizzando la spettrometria ad assorbimento atomico (AAS), la spettrometria ad accoppiamento induttivo plasma-emissione atomica (ICP-AES) o la spettrometria a fluorescenza a raggi X (XRF). I residui di pesticidi organici sono rilevabili mediante gascromatografia/spettrometria di massa (GC-MS), mentre polveri sconosciute e residui eventualmente presenti sulla superficie dell'oggetto sono analizzati mediante spettroscopia infrarosso con trasformata di Fourier (FTIR), microscopia a luce polarizzata (PLM) o diffrazione dei raggi X (XRD). Le varie tecniche disponibili differiscono non solo per la sostanza da indagare, ma anche per la soglia minima di rilevamento, per i costi da affrontare e per le modalità di campionamento. Non esiste al momento una metodica unica che consenta l'identificazione di tutti i pesticidi (Sirois & Sansoucy, 2001).

Una delle tecniche spesso usate per il riconoscimento dei residui organici e inorganici è lo "spot test"; con tale kit è possibile determinare la presenza di arsenico, composti organofosfati, carbammati e residui di pesticidi borati, purtroppo però si tratta di un test distruttivo (Sirois *et al.*, 2008). Con tale tipo di indagini non è possibile stabilire la concentrazione totale del contaminante presente in un oggetto ma solo quella ritrovata nel campione. Inoltre poiché il pesticida può essere stato applicato in formulazione liquida, secca o gassosa, la sua deposizione sul bene risulterà disomogenea e anche analizzando numerosi campioni è praticamente impossibile ottenere risultati concordanti. La mancanza di dati correlabili rende difficile, se non impossibile, stabilire il corretto livello di rischio.

Purtroppo non si dispone ancora di protocolli standard per effettuare il riconoscimento, la rimozione, la quantificazione del residuo così come non si conoscono i valori soglia oltre i quali si è certi del rischio per l'uomo mentre sono in continuo sviluppo tecniche che sembrano promettere il completo recupero degli oggetti incriminati. Ovviamente il monitoraggio dell'esposizione per gli operatori e la valutazione dei pericoli sanitari effet-

tuata da personale qualificato sono la chiave per stabilire la gestione del rischio biologico in qualsiasi contesto lavorativo (Madden *et al.*, 2010).

Un esempio di rischio da contaminazione biocida è l'esperienza citata da Victoria Purewal riguardo l'erbario del National Museums and Galleries of Wales (Purewal, 2001a, 2001b). Analisi di campioni hanno evidenziato la presenza di alte concentrazioni di mercurio, arsenico e bario risalenti all'ultimo trattamento insetticida effettuato settanta anni prima. La concentrazione di mercurio in alcuni casi era di 1000 ppm, livello tale da creare seri problemi di salute e sicurezza agli addetti alle collezioni, in quanto il mercurio così come l'arsenico sono metalli altamente tossici e possono accumularsi nell'organismo generando sintomi acuti seri e cronici.

Altri esempi provengono dal Museo Nazionale Danese e dal Museo Danese di Armi e Uniformi ove le analisi effettuate con gascromatografia hanno rivelato, nella maggior parte degli oggetti, la presenza di pesticidi risalenti a trattamenti effettuati moltissimi anni prima (Glastrup, 2001). Lo stesso Museo Nazionale ha sviluppato procedure per l'identificazione, la rimozione degli insetticidi pericolosi a seguito del ritrovamento di residui di DDT, in varie concentrazioni, in tutti i manufatti che dovevano essere trasferiti in Groenlandia (Schmidt, 2001).

6.4 Il rischio da roditori

Dario Capizzi, Luciano Santini

L'importanza dei roditori come responsabili della trasmissione di importanti malattie all'uomo e agli animali domestici, perché vettori di pericolosi patogeni, è ben nota fin dall'antichità. Basti ricordare le devastanti epidemie di peste che si sono susseguite per secoli, mietendo un numero incalcolabile di vittime. Infatti il Ratto dei tetti è il principale ospite della pulce *Xenopsylla cheopis*, vettore del batterio *Yersinia pestis*, agente eziologico della peste. I roditori mantengono un ruolo importante come serbatoi e vettori di malattie soprattutto nei paesi più poveri e sprovvisti di efficienti sistemi sanitari.

Rimanendo al contesto degli archivi la problematica riveste un'importanza marginale. In generale, le zoonosi associate ai roditori assumono rilevanza solo in particolari locali molto degradati, situazioni assai difficilmente riscontrabili in ambienti di conservazione. Tuttavia, qualora ci si trovi in presenza di abbondanti popolazioni di roditori, ciò può costituire un fattore di rischio per le persone che vi svolgono attività lavorative e la natura del rischio varia in funzione delle diverse vie con cui i patogeni si diffondono. La trasmissione del patogeno può avvenire per inoculazione, ingestione, inalazione o per contatto. Nel caso di inoculazione l'infezione è mediata da un vettore, soprattutto zecche e pulci. Il patogeno può essere trasmesso anche tramite l'inalazione di aerosol, per contatto degli escreti con l'epidermide o tramite ingestione di cibi o liquidi contaminati.

Nell'ambito degli archivi le zoonosi che, almeno in linea teorica, potrebbero rivestire importanza sono soprattutto quelle che prevedono il contatto con escreti. Nel caso della leptospirosi, i cui batteri possono penetrare attraverso microlesioni della cute, la responsabile della trasmissione della malattia è proprio l'urina dei roditori. Altre malattie, quali ad esempio le sindromi da hantavirus, si trasmettono mediante aerosol infetto. Le malattie trasmesse vengono generalmente classificate in base all'agente patogeno che le causa (virus, batterio, protozoo o macroparassita ecc.). Per un quadro completo sulle principali zoonosi veicolate dai roditori si consulti il testo di Capizzi & Santini (2007).

PARTE SPECIALE

Capitolo 7

Note morfo-biologiche di Insetti e Roditori: schede di riferimento

Dario Capizzi, Luciano Santini, Pasquale Trematerra

In questa parte vengono fornite brevi note sulla biologia e morfologia delle specie di insetti e roditori coinvolte nei danni ai materiali fotografici, ai fini di una caratterizzazione utile per un loro inquadramento sistematico o tassonomico (Capizzi & Santini, 2007; Trematerra & Süß, 2007). Come è noto la biologia, in generale, con le varie branche, consente di comprendere il funzionamento di un organismo, l'aspetto esteriore, morfologico e costituisce il principale criterio di determinazione di una specie unitamente alla filogenesi, processo evolutivo dalla comparsa degli organismi sulla Terra a oggi e la cui ricostruzione è fondamentale nel determinare le relazioni ancestrali fra specie note sia vive sia estinte.

7.1 Gli Insetti

Pasquale Trematerra

Gli Insetti devono il loro nome alla struttura metamERICA del corpo; l'etimologia infatti fa riferimento proprio a tale segmentazione. Negli insetti la metamERIA è divenuta eteronoma al massimo grado, con una netta separazione tra le tre parti del corpo: capo, torace e addome. Le zampe degli adulti sono sempre sei, limitate al torace, e le appendici anteriori si sono differenziate in numerosi modi (ad esempio antenne, palpi ecc.). Il capo porta solo un paio di antenne e gli occhi sono generalmente composti. L'apparato boccale è vario, nella sua forma base (masticatore) è costituito da un labbro superiore, un paio di mandibole, un paio di mascelle e un labbro inferiore.

L'intero corpo è protetto in un esoscheletro, formato da sostanze organiche che gli conferiscono una specifica robustezza. Sono presenti tratti di discontinuità in cui il tegumento, da rigido, diventa membranoso.

Gran parte degli insetti, ovvero le forme più evolute, presenta una doppia coppia di ali sul torace per il volo; in alcuni gruppi le ali si sono trasformate per altre funzioni o sono regredite fino a scomparire. L'addome è allungato, formato da più segmenti, al suo interno sono alloggiati gli organi riproduttori. Le uova vengono di norma deposte in anticipo rispetto alla schiusa, singolarmente, a gruppi (ovature) o protette in appositi astucci (ooteche).

Il ciclo biologico prevede una serie di trasformazioni morfologiche, più o meno profonde, dalla schiusa delle uova al raggiungimento dello stadio adulto. Tali cambiamenti sono conosciuti con i nomi di muta e di metamorfosi. Al riguardo, i vari Ordini possono essere suddivisi fondamentalmente in tre raggruppamenti secondo le caratteristiche del ciclo di sviluppo:

- insetti *ametaboli* (privi di metamorfosi, come i Tisanuri), specie primitivamente attere la cui forma giovanile, neanide, è molto simile all'adulto e si accresce senza vistose trasformazioni;

- insetti *eterometaboli* (a metamorfosi graduale, come i Blattodei), nei quali gli stadi giovanili, spesso distinguibili in neanide e ninfa (forma, quest'ultima, in cui sono presenti gli abbozzi delle ali), si differenziano dall'adulto soltanto per pochi caratteri morfologici, che acquistano gradualmente con le varie mute;
- insetti *olometaboli* (a metamorfosi completa, come i Coleotteri), nei quali per arrivare all'adulto si passa attraverso stadi differenti, solitamente la larva e la pupa, che possono vivere in ambienti distinti.

7.1.1 ORDINE THYSANURA

Si tratta di piccoli insetti atteri lunghi fino a 20 mm, con corpo affusolato, a forma di carota, coperto di squamette brillanti simili a quelle che ricoprono le ali delle farfalle. Le antenne sono allungate e filiformi, sull'ultimo segmento addominale si impiantano tre lunghi cerci, caratteristica peculiare dell'Ordine. Il ciclo biologico, non presenta metamorfosi, è del tipo ametabolo: uovo - neanide - adulto. I Tisanuri sono insetti tra i più primitivi, muniti di un apparato boccale masticatore semplice.

FAMIGLIA <i>Lepismatidae</i>	
SPECIE	<i>Lepisma saccharina</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Lepisma o Pesciolino d'argento.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto misura 15-20 mm, è di colore brunastro con squamette dai riflessi argentei; corpo affusolato, appiattito e delicato. Le antenne sono lunghe quanto la lunghezza del corpo e i due cerci, più brevi del corpo, hanno la stessa lunghezza del paracercio. L'uovo ha forma ellittica e lunghezza di circa 1 mm; bianco appena deposto, diventa giallo-marrone dopo poche ore. Le neanidi sono del tutto simili all'adulto.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La femmina depone 70-100 uova. A 25 °C lo sviluppo viene completato in 2-4 mesi, con un totale di 10 mute. In condizioni meno favorevoli il ciclo biologico può durare anche 3 anni, con numerose mute allo stato di neanide (fino a 50). Tra una muta e la successiva può entrare in diapausa anche per un periodo di 1-2 mesi. Nel corso dei 12 mesi presenta 1-2 generazioni. Riesce a vivere per diversi anni, generalmente 2-3, in dipendenza dell'andamento della temperatura e della durata dei periodi di diapausa.
SPECIE	<i>Termobia domestica</i> (Packard).
NOME COMUNE	Termobia o Pesciolino d'argento.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Si distingue dal <i>Lepisma</i> per la screziatura scura sulla superficie dorsale del corpo. L'adulto misura 15-20 mm, ha il corpo affusolato ricoperto di squamette brune, appiattito e delicato, con antenne e cerci evidenti (più lunghi di quelli di <i>L. saccharina</i>). I cerci sono di lunghezza quasi uguale al corpo, mentre il paracercio è più lungo.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La femmina depone sino a 150 uova; il ciclo biologico si completa dopo una ventina di mute, a volte fino a 60. Dopo ogni ovideposizione effettua la muta e deve essere fecondata per deporre un altro gruppo di uova. Vive anche 3 anni.

7.1.2 ORDINE PSOCOPTERA

Raggruppamento formato da poche specie i cui rappresentanti generalmente hanno dimensioni minute e corpo molle a causa di un esoscheletro sottile. Le ali sono membranose, diverse specie risultano essere attere. Sono insetti eterometaboli: uovo - neanide - ninfa - adulto. Sia gli esemplari giovani sia gli adulti hanno un apparato boccale masticatore e si cibano degli stessi substrati alimentari. Oltre alle specie attere e microterre, esistono anche specie con ali completamente sviluppate. Le forme alate possono essere a volte confuse con gli afidi (insetti non nocivi in ambiente archivistico) tuttavia il diverso apparato boccale è una delle caratteristiche che ne permette un chiaro riconoscimento. Depongono le uova isolate o a piccoli gruppi e spesso le ricoprono di escrementi o di piccole particelle che reperiscono dallo stesso substrato.

FAMIGLIA Liposcelidae	
SPECIE	<i>Liposcelis divinatorius</i> (Müller).
NOME COMUNE	Psocottero o Psocide.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Lungo da 0,7 a 2 mm, senza ali e di colore biancastro-jalino; antenne di 15 articoli, poco più brevi del corpo. Addome allungato, depresso, arrotondato distalmente.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Preferisce ambienti caldo umidi, dove può compiere anche 6-8 generazioni all'anno. L'adulto vive da una settimana, in estate, ad un massimo di tre mesi, in inverno. Ogni femmina depone da 10 a 100 uova, singolarmente o in piccoli gruppi.
SPECIE	<i>Liposcelis bostrycophila</i> (Badonnel).
NOME COMUNE	Pidocchio dei libri.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto lungo circa 1 mm, ha il corpo di colore bruno chiaro ed è attero. Le forme giovanili sono jaline.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Specie polivoltina. La femmina produce da 50 a 70 uova che depone singolarmente o in piccoli gruppi. Il ciclo di sviluppo si compie in 22 giorni a 30 °C e circa 56 giorni a 20 °C. L'adulto vive anche 90 giorni.
FAMIGLIA Trogidae	
SPECIE	<i>Trogium pulsatorium</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Psocottero o Psocide.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Insetto dalle dimensioni di circa 2 mm, allungato, il colore del corpo è in genere bruno chiaro, in alcuni periodi della vita presenta le ali.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Compie una sola generazione l'anno; la femmina depone una dozzina di uova, disposte in modo isolato o a gruppi, ricoperte con radi filamenti setosi.

7.1.3 ORDINE BLATTODEA

Gli scarafaggi nell'età adulta hanno dimensioni variabili tra 1 e 5 cm, a seconda della specie. Il corpo è depresso dorso-ventralmente, con forma ovale e di colore bruno-nerastro; le zampe sono lunghe e permettono una velocità relativamente elevata. Sul capo si impiantano antenne filiformi estese quasi quanto il corpo. Gli adulti possono essere alati, provvisti di ali ridotte, o atteri a seconda della specie (figg. 7.1 e 7.2). Il ciclo di sviluppo risulta essere di tipo eterometabolo: uovo - neanide - ninfa - adulto. Le blatte sono dotate di apparato boccale masticatore. Le uova sono riposte, in numero variabile da specie a specie, all'interno di una ooteca, principalmente con funzione protettiva, che la femmina può rilasciare nell'ambiente oppure portare attaccata all'addome fino alla schiusa delle uova.

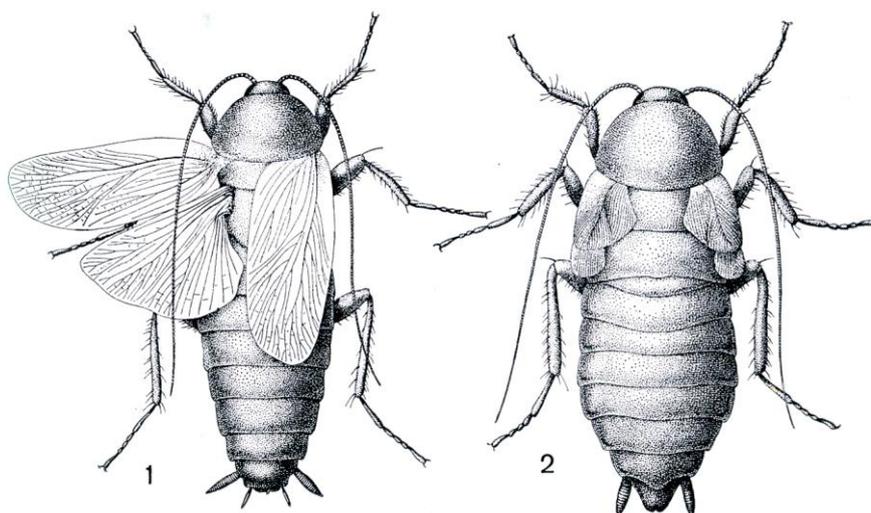


Fig. 7.1 - *Blatta orientalis* (L.), 1 - maschio, 2 - femmina. Le ali nel maschio ricoprono quasi tutto l'addome, la femmina è brachittera

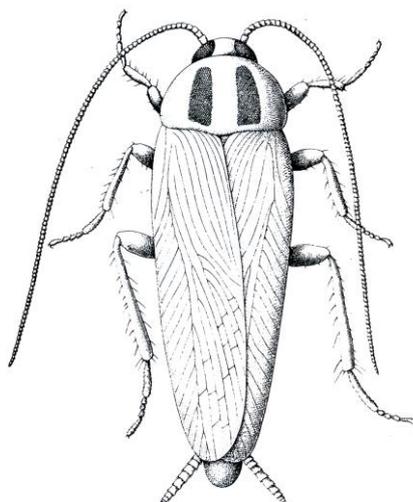


Fig. 7.2 - *Blattella germanica* (L.), maschio. Ben visibili le ali che lasciano scoperti gli ultimi segmenti addominali

FAMIGLIA Blattidae	
SPECIE	<i>Blatta orientalis</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Blatta orientale o Scarafaggio nero.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto misura da 18 a 28 mm; corpo appiattito, di colore bruno tendente al nero; il maschio presenta le ali che ricoprono quasi tutto l'addome, la femmina è brachittera (con ali ridotte). Le uova sono racchiuse in un'ooteca lunga 10-12 mm, di colorazione marrone scuro. Neanide e ninfa, prive di ali, sono simili all'adulto.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Nel corso della vita la femmina depone 5-10 ooteche che contengono un massimo di 16 uova ciascuna. L'ooteca è asimmetrica, non incollata al suolo. La durata del ciclo biologico dipende dalle condizioni ambientali: a 30 °C è di 160-180 giorni, fino a 2 anni in situazioni meno favorevoli. L'adulto vive anche fino a 1-2 anni, nell'arco dei dodici mesi si svolge una unica generazione.
SPECIE	<i>Periplaneta americana</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Periplaneta o Scarafaggio rosso.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto, dal corpo appiattito, ha una lunghezza variabile dai 28 ai 53 mm, di colore rosso ferruginoso; le ali nel maschio ricoprono totalmente l'addome, mentre nella femmina risultano leggermente più corte. L'ooteca è di colore marrone scuro, misura 10-12 mm. Le neanidi e le ninfe sono prive di ali.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	A 30 °C il numero di ooteche emesse dalle femmine nell'arco della loro vita è di 10-15, collocate in punti nascosti nelle adiacenze del substrato alimentare; in ciascuna sono presenti fino a 28 uova. Il ciclo vitale può durare da 350-400 giorni a più di 2 anni, a seconda delle condizioni ambientali.
SPECIE	<i>Blattella germanica</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Blattella o Mosca del caffè.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto ha corpo appiattito dalle misure di 10-16 mm; la colorazione è variabile dal bruno al giallo ocra, con due bande scure longitudinali sul pronoto. Nel maschio le ali lasciano scoperti gli ultimi segmenti addominali mentre nella femmina ricoprono tutto l'addome. L'ooteca, lunga 7-9 mm, si presenta di colore marrone brillante. Le neanidi e le ninfe sono simili agli adulti, ma prive di ali.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Durante la sua vita la femmina genera un numero di ooteche variabile da 4 a 8, ciascuna contenente 35-48 uova. L'ooteca viene portata attaccata all'addome, per poi essere deposta poco prima della schiusa delle uova. Il periodo di sviluppo postembriionale è di circa 40 giorni e il ciclo biologico si completa mediamente in 3 mesi a 30 °C e 70% di U.R. In condizioni ottimali gli adulti vivono circa 5 mesi, le femmine mostrano una longevità di poco superiore.

SPECIE	<i>Supella longipalpa</i> (Fabricius).
NOME COMUNE	Supella o Blatta dei mobili.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto maschio è lungo 13-15 mm, la femmina 10-12 mm. Generalmente gli individui sono giallo-ocra con una banda trasversale più chiara nella parte centrale delle ali; è presente un ampio spettro di variazioni cromatiche intraspecifiche. Le ali nel maschio ricoprono totalmente l'addome, mentre nella femmina lasciano scoperti gli ultimi segmenti. L'ooteca è di colore bruno chiaro e lunga 4-5 mm.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La femmina depone da 6 a 15 ooteche. In ognuna generalmente sono presenti 14-18 uova. L'incubazione dura mediamente 40 giorni, in funzione della temperatura e dell'umidità. La durata dello sviluppo preimmaginale si attesta sui 119 giorni nel periodo estivo e sui 230 giorni nel periodo invernale. A 30 °C l'adulto vive da 90 a 115 giorni.

7.1.4 ORDINE ISOPTERA

Detti volgarmente “termiti”, sono insetti costituiti in società formate da individui differenziati in varie caste. Hanno un tegumento molle e chiaro e vivono sempre sotto terra o entro il legno (ad eccezione delle forme alate durante il volo nuziale). Una società di termiti è formata, di norma, da tre categorie di individui: anfigonici (casta fertile), operai e soldati (casta sterile). Gli anfigonici o sessuati sono maschi e femmine fertili chiamati comunemente anche re e regina. Gli operai sono individui sterili di ambedue i sessi, sempre atteri, che si occupano di tutti i lavori del nido. I soldati, con struttura morfologica particolare e capo molto sviluppato, grandi mandibole, hanno il compito della difesa della colonia (fig. 7.3). Sono insetti eterometaboli.

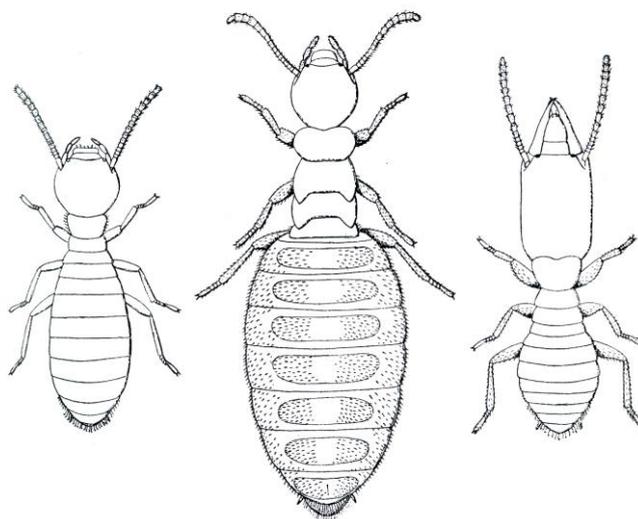


Fig. 7.3 - *Reticulitermes lucifugus* (R.). Operaio a sinistra, regina di sostituzione (alato a cui vengono strappate le ali prima dello sfarfallamento) al centro, soldato provvisto di grandi mandibole a destra

FAMIGLIA Kalotermitidae	
SPECIE	<i>Kalotermes flavicollis</i> (Fabricius).
NOME COMUNE	Termite dal collo giallo.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'insetto alato (o reale) è lungo 10-12 mm, 6-8 mm senza ali; il corpo è bruno-nerastro con la parte dorsale del primo segmento toracico di colore giallastro e la porzione terminale delle antenne e delle zampe avana chiaro.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Le colonie al massimo sono formate da 1.000-2.000 individui.

SPECIE	<i>Cryptotermes brevis</i> (Walker).
NOME COMUNE	Termite indiana da legno secco.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'insetto alato, di colore brunoastro, è lungo 10-11 mm; il soldato è lungo 4-5 mm e di colore nocciola-grigiastro.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Nel nido nel primo anno vi si trovano solo i reali fondatori della colonia e gli pseudoergati (individui non del tutto differenziati in una specifica casta, ma trasformabili in soldati o in soggetti fertili); negli anni successivi compaiono i soldati e la colonia aumenta di numero, ma non supera le 300 unità.
FAMIGLIA Rhinotermitidae	
SPECIE	<i>Reticulitermes lucifugus</i> (Rossi).
NOME COMUNE	Termite lucifuga.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'insetto alato è lungo 10-12 mm (6 mm se si escludono le ali); ha il corpo di colore nerastro e il primo segmento del torace più stretto del capo. Le ali sono brune, con il margine anteriore nerastro.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Le sue colonie sono formate da migliaia di esemplari (anche più di 10.000). I nidi si trovano nel terreno a volte fino a 6-7 metri di profondità. All'interno dell'organizzazione sociale vi sono individui alati, operai, soldati e neanidi.

7.1.5 ORDINE COLEOPTERA

I Coleotteri rappresentano l'Ordine più ricco di specie di tutto il Regno Animale. Allo stadio adulto sono caratterizzati da ali anteriori trasformate in due scudi coriacei, chiamati elitre, che si incontrano lungo la linea mediana dell'addome, con finalità protettiva. Le ali posteriori, adibite al volo, sono membranose e vengono tenute ripiegate sotto le elitre; in alcuni casi risultano essere assenti. Il loro ciclo di sviluppo è di tipo ometabolo: uovo - larva - pupa - adulto. Sia la larva sia l'adulto normalmente possiedono un robusto apparato boccale masticatore, con cui possono arrecare danni più o meno gravi (figg. 7.4-7.11).

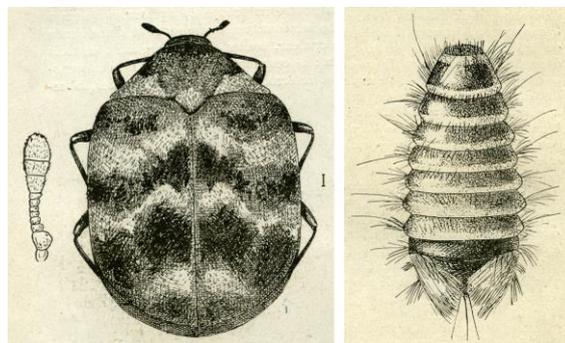


Fig. 7.4 - Adulto di *Anthrenus verbasci* (L.) caratterizzato dal corpo tondeggiante. La larva di *A. verbasci* presenta il corpo allungato munito di folti ciuffi di setole

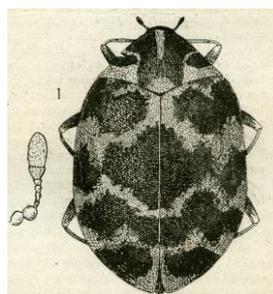


Fig. 7.5 - Adulto di *Anthrenus museorum* (L.)

FAMIGLIA Dermestidae	
SPECIE	<i>Dermestes lardarius</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Dermestide del lardo.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto, lungo 7-9 mm, è di colore nero con una fascia giallastra maculata più scura nella parte prossimale delle elitre. La larva è nera con ciuffi di setole distribuite lungo il corpo.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Le femmine depongono da 100 a 800 uova, a gruppi di 7-8 direttamente sulle sostanze appetite dalle larve. L'incubazione dura 7-10 giorni, lo stadio larvale 20-30 giorni, quello di pupa 15-20 giorni.
SPECIE	<i>Anthrenus verbasci</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Antreno o Tarlo dei tappeti.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Adulti tondeggianti, da 1,5 a 4 mm, con ali brune ricoperte di setole grigio-giallastre distribuite in forma irregolare. La larva presenta il corpo bruno-nerastro, allungato e con folti ciuffi di setole.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La femmina depone una quarantina di uova che schiudono dopo 2 o 3 settimane; lo stadio larvale può variare da 8-10 mesi a due anni. L'adulto vive 2-4 settimane, qualche settimana in più se femmina.
SPECIE	<i>Anthrenus museorum</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Antreno dei musei.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto, lungo circa 3 mm, è di colore nero con setole bianche e gialle distribuite in forma irregolare e variabile. Il ventre è biancastro con una macchia scura sugli ultimi segmenti. Le zampe sono rossastre. La larva è bruna, ha tre ciuffi di setole dorate all'apice dell'addome.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Le uova sono deposte in numero variabile da 35 a 100. A 30-35 °C il ciclo biologico si completa in circa 3 mesi. Monovoltino, gli adulti sfarfallano in primavera-estate.
FAMIGLIA Anobiidae	
SPECIE	<i>Stegobium paniceum</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Stegobio o Anobio del pane.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Gli adulti misurano 2-3,5 mm, hanno forma ovale allungata, colore bruno e riflessi giallastri. Il pronoto è leggermente convesso e protegge parzialmente la parte posteriore del capo. Le antenne hanno gli ultimi 3 articoli allungati, diversi l'uno dall'altro.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La femmina depone da 20 a 100 uova, in gruppi di 4-5. Le larve, in grado di sopravvivere in condizioni di bassa umidità, sono resistenti a situazioni ambientali sfavorevoli. Ogni anno si succedono da 1 a 4 generazioni. Alle condizioni ottimali di 30 °C e 60-90% di U.R. il ciclo si compie in 40 giorni. Gli adulti vivono fino a 8 settimane.
SPECIE	<i>Gastrallus pubens</i> (Fairmaire).
NOME COMUNE	Gastrallo.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto, dal colore bruno rossiccio più o meno scuro, è ricoperto di corta pubescenza. Ha il corpo allungato di 3-3,5 mm; le antenne sono filiformi con segmenti distali ben visibili. Le larve hanno dimensioni di circa 5 mm.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	In funzione delle condizioni ambientali di temperatura e umidità, l'uovo schiude in 1-2 settimane, la larva dura da poche settimane a più anni, lo stadio pupale si osserva per 2-3 settimane, l'adulto vive alcune settimane. Gli adulti sfarfallano dai fori delle gallerie larvali, possono accoppiarsi direttamente nei materiali già infestati per poi disperdersi.
SPECIE	<i>Lasioderma serricornes</i> (Fabricius).
NOME COMUNE	Lasioderma o Anobio del tabacco.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto misura 3-4 mm, ha forma ovoidale e colore bruno; le sue antenne sono formate da 14 segmenti dentellati dalle dimensioni simili.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La femmina depone fino a un centinaio di uova e le larve che ne nascono forano i substrati e gli involucri, scavando gallerie di sezione circolare; lo stadio di larva dura da 1 a 4 mesi. L'impupamento ha luogo in una piccola cella coperta da rosura ed escrementi. L'adulto vive da 14 a 50 giorni; vola quando la temperatura supera i 24 °C. Nei nostri ambienti effettua 2-3 generazioni l'anno, in situazioni particolari da 1 a 7. Alle condizioni ottimali di 30 °C e 70% di U.R. il ciclo si compie in 26 giorni.

FAMIGLIA Ptinidae	
SPECIE	<i>Gibbium psylloides</i> (de Czepinski).
NOME COMUNE	Insetto ragno.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Gli adulti, lunghi 1,7-3 mm, sono di colore bruno-rossastro, nero; hanno corpo globoso, liscio brillante e glabro, antenne e zampe lunghe e sottili.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La femmina depone 100 e più uova. Il ciclo biologico si completa in 4-6 mesi a 20-23 °C; impiega 60-70 giorni a 24-27 °C e 80% di U.R. In natura presenta 2-3 generazioni annuali, l'adulto vive per 8-10 mesi.
SPECIE	<i>Ptinus fur</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Insetto ragno.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	L'adulto è lungo 2-4,3 mm, di colore bruno ha le elitre con peluria biancastra, zampe lunghe e sottili.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	In condizioni ottimali di 21-25 °C, il ciclo biologico si completa in 30-90 giorni.

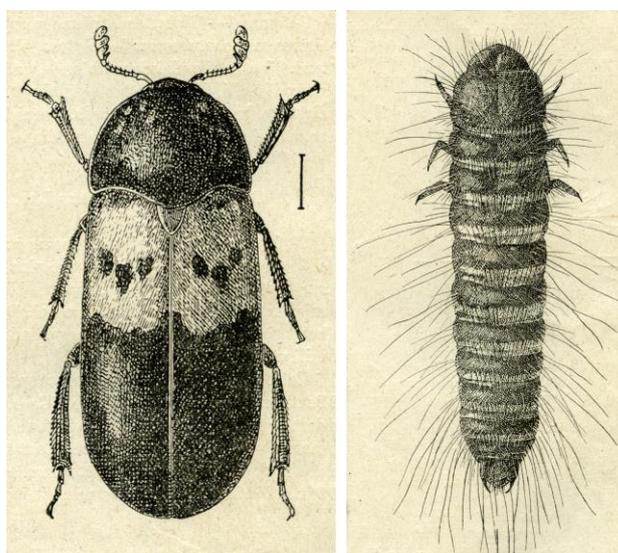


Fig. 7.6 - Adulto di *Dermestes lardarius* (Linnaeus) e relativa larva contraddistinta dal portare le setole sui vari segmenti del corpo

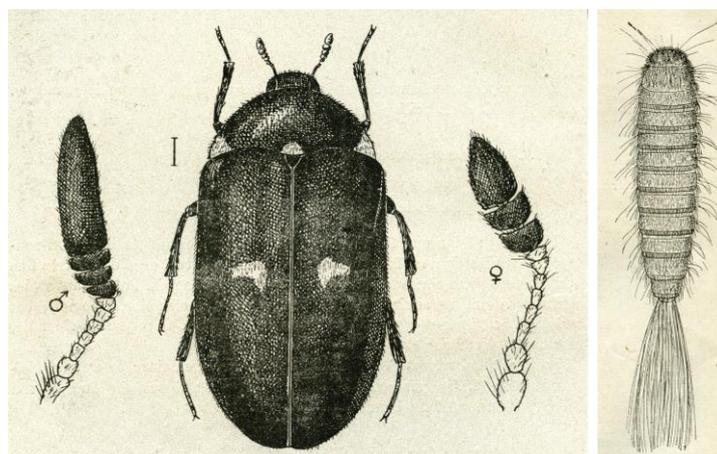


Fig. 7.7 - Adulto di *Attagenus pellio* (Linnaeus) e relativa larva contraddistinta da setole sui vari segmenti del corpo e dal ciuffo disposto all'estremità caudale

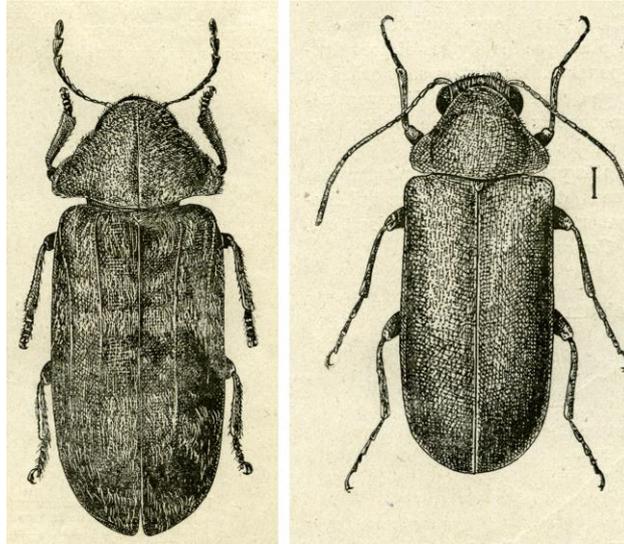


Fig. 7.8 - Adulto di *Xestobium rufivillosum* (De Geer) a sinistra e adulto di *Ernobius mollis* (L.) a destra

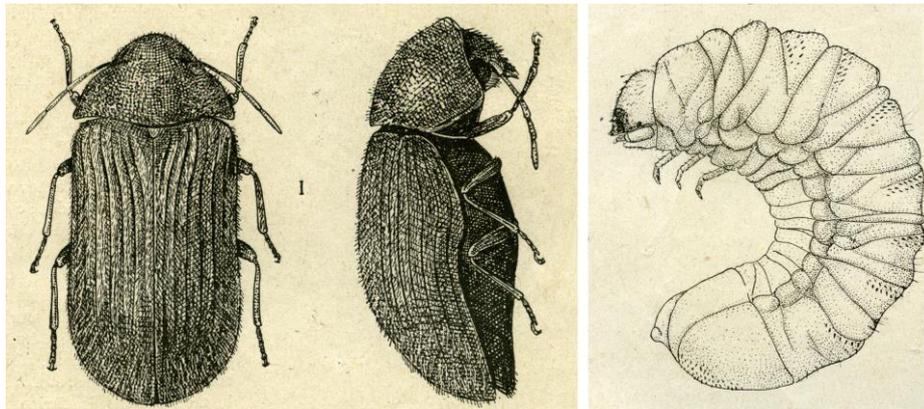


Fig. 7.9 - Adulti di *Stegobium paniceum* (L.) e relativa larva

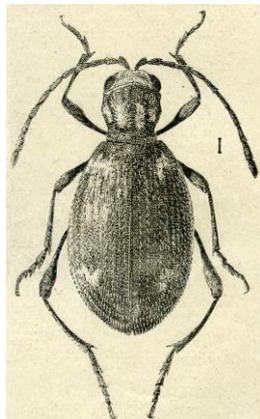


Fig. 7.10 - Adulto di *Ptinus fur* (L.)

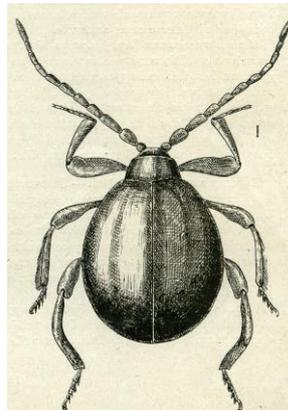


Fig. 7.11 - Adulto di *Gibbium psylloides* (Czepinski)

7.2 I Roditori

Dario Capizzi, Luciano Santini

Nell'ambito dei Mammiferi, l'Ordine dei roditori (Rodentia) è quello che racchiude il maggior numero di specie. Ad esso appartengono 2277 specie, equivalenti al 42% delle specie di Mammiferi note, suddivise in cinque sottOrdini e 33 famiglie (Carleton & Musser, 2005).

Si tratta di un Ordine di grande successo, avente una distribuzione pressoché cosmopolita, con specie che hanno colonizzato, spontaneamente o grazie all'azione di trasporto operata dall'uomo, la gran parte delle terre emerse del pianeta e occupato una grande varietà di nicchie ecologiche.

Come testimonia la radice del loro nome, che deriva dal latino *rodere*, ciò che distingue i roditori dagli altri mammiferi è la peculiare dentatura. Il principale carattere distintivo è costituito dalla mancanza dei canini e di alcuni denti iugali, che si traduce nella presenza di una soluzione di continuità fra gli incisivi e i molari, denominata diastema. Altra peculiarità è quella di presentare due paia di incisivi, una per ogni mandibola: questi sono caratterizzati dall'aver una crescita continua, la quale si protrae per tutta la vita dell'individuo. Per tale ragione, i roditori presentano la necessità di eroderne continuamente il profilo, in modo da contenerne la crescita entro una misura compatibile con una loro corretta funzionalità (grazie all'attività giornaliera e allo sfregamento degli incisivi superiori contro gli omologhi inferiori). Gli incisivi presentano la loro parte distale a forma di scalpello, sono rivestiti di uno spesso strato di duro smalto solo nella parte anteriore, mentre nella parte posteriore sono ricoperti di dentina, sostanza assai più tenera. Tale caratteristica conferisce una differente durezza tra le due parti del dente, che tende quindi a consumarsi maggiormente nella sua porzione posteriore.

I roditori presentano un numero di denti assai variabile, che nelle specie italiane è compreso tra un minimo di 16 in topi, ratti ed arvicole e un massimo di 22 negli scoiattoli.

FAMIGLIA Muridae	
SPECIE	<i>Mus musculus</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Topo domestico.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Specie di taglia piccola (peso 12-24 g), presenta un mantello di colore bruno-grigiastro nelle parti superiori, grigio chiaro inferiormente. Le orecchie e gli occhi sono abbastanza sviluppati, la lunghezza della coda (6-9,5 cm) corrisponde a circa l'80% della lunghezza testa-corpo (6,5-11 cm).
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Il potenziale riproduttivo è molto elevato. La maturità sessuale è precoce e viene raggiunta tra le 8 e le 10 settimane, mentre la gestazione è di 19-20 giorni. Si possono avere da 5 a 10 parti l'anno.
SPECIE	<i>Rattus rattus</i> (Linnaeus).
NOME COMUNE	Ratto dei tetti o Ratto nero.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	La colorazione del mantello si presenta assai differente a seconda delle popolazioni, con le parti superiori marrone-grigiastre e il ventre da grigio a biancastro. Il peso è di 130-280 g, il muso è appuntito e le orecchie sono quasi completamente prive di pelo. La coda è lunga 17-28 cm, il corpo invece 15-24 cm. Negli individui giovani il riconoscimento dei caratteri morfologici risulta più difficile.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	La maturità sessuale è raggiunta dalle femmine ad un'età di 12-16 settimane. La gestazione è compresa tra 21 e 23 giorni, al termine della quale le femmine danno alla luce da 5 a 8 piccoli, in media 7. Ciascuna femmina può avere diversi parti all'anno, generalmente da 3 a 5.

SPECIE	<i>Rattus norvegicus</i> (Berkenhout).
NOME COMUNE	Ratto delle chiavi, Ratto grigio o Surmolotto.
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	Il peso è compreso tra 250 e 520 g, la lunghezza testa-corpo è di 18-27 cm. Il muso è appuntito, gli occhi piccoli e le orecchie sono provviste di pelo molto fine. La coda è spessa e la sua lunghezza (15-21 cm) è inferiore a quella del corpo.
CARATTERISTICHE BIOLOGICHE	Le femmine raggiungono la maturità sessuale all'età di 8-12 settimane, quando pesano circa 115 g. La gestazione è compresa tra 20 e 24 giorni, al termine della quale le femmine danno alla luce in genere da 6 a 9 piccoli.

Capitolo 8

Note sulle principali tecniche fotografiche: schede di riferimento

Barbara Cattaneo, Donatella Matè

Le fotografie, manufatti stratigrafici compositi, sono costituite almeno da due elementi: un supporto primario e una o più sostanze fotosensibili. Il supporto primario che costituisce la base su cui aderisce l'immagine fotografica può essere in materiale trasparente (vetro, materie plastiche, carta cerata) o riflettente (metallo, carta, carta plastificata, tessuto, cuoio, ceramica, porcellana, legno ecc.). Per sostanza fotosensibile s'intende prevalentemente un sale in grado di reagire alle radiazioni luminose, proporzionalmente all'energia ricevuta. Tali sostanze possono essere applicate al supporto primario in forma di dispersione o di emulsione, preparate a partire da un legante, usualmente a base di albumina, collodio o gelatina. In alcuni procedimenti (dagherrotipo, calotipo, cianotipo, platinotipo, palladiotipo) non è presente alcun tipo di legante e l'immagine si forma direttamente sul supporto primario.

8.1 Processi in bianco e nero e a colori

La maggior parte dei procedimenti fotografici si basa sulla sensibilità fotochimica degli alogenuri d'argento (cloruro, ioduro, bromuro d'argento), ma esistono delle cosiddette tecniche non argentiche che si incentrano sull'uso di altri sali metallici, in particolare ferro e cromo. Tuttavia, le sostanze utilizzate, o meglio i composti di sostanze, che hanno trovato impiego per le loro proprietà fotosensibili, siano esse per annerimento o per indurimento, sono numerose, come i sali di rame, i composti dello zinco, del cadmio, del piombo, nonché gli alogenuri di metalli alcalini e alcalino terrosi. Questi composti sono stati oggetto di una vivace sperimentazione nel corso del secolo e mezzo che ha caratterizzato la vita della fotografia analogica. Un ulteriore strato isolante, generalmente formato da barite, può essere interposto tra il supporto primario e lo strato immagine (fig. 8.1) al fine di migliorare la stesa dell'emulsione e rendere l'immagine più brillante e ricca di dettagli.



Fig. 8.1 - Sezione di carta alla gelatina-cloruro d'argento, Kodak Velox del 1933, ingrandimento in fase di ripresa. Ben visibili sono i tre strati rappresentati (da sinistra verso destra) dallo strato immagine (costituito da gelatina e sale d'argento), dallo strato di barite e dal supporto primario in carta

Se i materiali fotografici degli albori erano di manifattura artigianale, realizzati dai fotografi stessi, a partire dagli anni Ottanta dell'Ottocento la fotografia, in particolar modo quella "di massa", diventa un prodotto meramente industriale. Con il Novecento la ricerca conduce a complessità stratigrafiche notevoli, fino ad arrivare ai più di venti strati, tra supporti e componenti chimiche, delle pellicole degli anni Novanta.

Ai componenti fondamentali si aggiungono dunque altri elementi che hanno la funzione di migliorare la resa visiva, la stabilità e la sicurezza del materiale fotografico. I trattamenti possono essere già presenti nel "pacchetto" fotografico prima dell'esposizione e dello sviluppo (per es. baritaglio, finitura antialo, sali per il viraggio nelle carte autoviranti ecc.), o eseguiti durante le fasi di sviluppo (ad es. i viraggi), oppure costituire un trattamento finale (come smaltatura, verniciatura, ritocco). Supporti secondari o montaggi possono completare l'insieme materico di una fotografia. L'uso di questi elementi implica quasi necessariamente l'impiego di sostanze con proprietà adesive di origine vegetale (colofonia, gomma arabica, gomma adragante), animale (colla di ossa, pesce, albumina, caseina, gommalacca), sintetica (adesivi vinilici, acrilici), o derivata da prodotti naturali (nitrocellulosa, acetato di cellulosa, raramente mastici).

I processi di formazione dell'immagine fotografica in bianco e nero sono essenzialmente due: ad annerimento diretto (*printing out process*) e a sviluppo (*developing out process*). I procedimenti di stampa nell'Ottocento erano basati soprattutto sull'annerimento diretto e solo verso la fine del secolo furono sostituiti da quelli a sviluppo.

L'annerimento diretto consiste nell'esposizione del materiale fotografico alla luce per un tempo sufficientemente lungo da ottenere un'immagine visibile, monocromatica. Lo sviluppo agisce in modo differente: in seguito all'esposizione alla luce si forma un'immagine latente che diverrà visibile solo dopo il trattamento di sviluppo chimico con un agente rivelatore. Una volta formata l'immagine, sia essa ad annerimento diretto sia a sviluppo chimico, è necessaria "fissarla", cioè rendere solubili in acqua gli elementi fotosensibili non ancora impressionati ed eliminarli con un lavaggio, in modo tale da evitare successive alterazioni non volontarie dell'immagine.

Nella tabella 8.1 vengono sintetizzate le varie fasi della formazione dell'immagine fotografica nei processi argentici ad annerimento diretto e a sviluppo in bianco e nero.

Tab. 8.1 - Fasi dei processi ad annerimento diretto e a sviluppo in b/n

PROCESSO AD ANNERIMENTO DIRETTO	PROCESSO A SVILUPPO
Esposizione alla luce solare o artificiale ¹ .	Esposizione alla luce ⁹ .
Immagine latente , formazione di pochi atomi di argento nelle zone impressionate ² .	Immagine latente , formazione di pochi atomi di argento nelle zone impressionate.
Annerimento diretto , formazione di argento colloidale in quantità visibile ³ .	Sviluppo , formazione di argento filamentare in quantità visibile ¹⁰ .
Lavaggio , rimozione del nitrato d'argento in eccesso ⁴ .	Arresto dello sviluppo ¹¹ .
Viraggio , variazione del tono cromatico ⁵ .	Fissaggio , trasformazione degli alogenuri non impressionati dalla luce in composti solubili.
Fissaggio , trasformazione degli alogenuri non impressionati dalla luce in composti solubili ⁶ .	Lavaggio , rimozione dei composti solubili.
Lavaggio ⁷ , rimozione dei composti solubili.	Asciugatura .
Asciugatura ⁸ .	

¹ Fase di ripresa. In opportuni telai. La luce provoca una alterazione molecolare degli alogenuri d'argento: AgX viene attivato e si ha una reazione di fotolisi.

² L'immagine latente (immagine che c'è ma non si vede - una modificazione non visibile dei cristalli di alogenuro di argento) si forma con il procedere dell'esposizione.

³ Formazione dell'immagine visibile. Le particelle di argento (argento fotolitico) che si determinano hanno ridotte dimensioni e forma tondeggianti (rispetto ai filamenti di argento che si formano nel processo a sviluppo) e l'immagine presenta una risoluzione elevata. Le immagini costituite da argento fotolitico hanno una colorazione bruno-rossastra e sono sensibili a vari fattori di alterazione.

⁴ La carta veniva prima salata con cloruro di sodio o ioduro di potassio e successivamente con nitrato di argento

producendo i sali fotosensibili AgCl o AgI.

⁵ Frequente è l'uso di soluzioni di viraggi come parte integrante del metodo per rendere più gradevole i toni e stabile l'immagine fotografica.

⁶ Per eliminare gli alogenuri d'argento non attivati e stabilizzare l'immagine.

⁷ Per eliminare i sali complessi dell'argento solubili in acqua. Fase importante in quanto consente la rimozione dei residui di tiosolfato (che possono causare il successivo deterioramento dell'immagine).

⁸ L'asciugatura deve avvenire in ambiente controllato in quanto una temperatura troppo elevata può determinare microfratture dell'emulsione, mentre un'umidità relativa non controllata può provocare distacchi e rigonfiamenti dell'emulsione.

⁹ Esposizione molto breve (anche frazioni di secondo) in un apparecchio fotografico.

¹⁰ L'immagine latente diventa visibile se trattata con uno sviluppo chimico. Lo sviluppo rivela così l'immagine riducendo gli alogenuri di argento esposti AgX ad argento metallico Ag⁰ che diviene tanto più scuro quanto più energizzato, dando luogo alla formazione di una immagine in bianco e nero. Le particelle di argento fotochimico sono molto più grandi rispetto a quelle di argento fotolitico; il risultato finale del processo produce una immagine in bianco e nero stabile, formata da argento di dimensioni variabili sotto forma di filamenti. Le dimensioni dei grani influiscono anche sulla definizione dell'immagine stessa. L'immagine in bianco e nero che si viene a formare avrà una gradazione di grigi più o meno ampia e dettagli più o meno definiti. I rivelatori più comuni sono il pirogallolo, la pirocatechina, l'idrochinone, il fenidone, la glicina, l'amidolo, il metolo.

¹¹ Per interrompere l'azione dello sviluppo chimico.

I principali processi fotografici a colori (che si basano sulla sintesi additiva e sottrattiva) sono:

- autocromia;
- a sviluppo cromogeno;
- a distruzione di coloranti;
- a sviluppo istantaneo;
- a trasferimento di immagine (detto anche "a imbibizione").

Il processo dell'autocromia, sistema proprietario inventato dai fratelli Lumière che si basava sul principio della sintesi additiva, forniva una diapositiva in cui l'immagine era formata da un doppio strato di granuli di fecola di patate rosso-arancio, giallo-verde, blu-violetto a determinare un mosaico. Lo stesso principio additivo a mosaico o a schermo è stato impiegato per numerose altre trasparenze a colori, sia su supporto vetro, sia su plastico, da varie case produttrici (es. Dufay, Paget, Alticolor, Lumicolor).

Il processo a sviluppo cromogeno genera invece dei coloranti nei tre strati fotosensibili dell'emulsione fotografica: all'interno dello strato di emulsione sensibile alla luce blu, a quello verde e al rosso. Un ulteriore strato (filtro giallo) è interposto tra il primo e il secondo strato. Il processo prevede: esposizione e formazione dell'immagine latente, sviluppo degli alogenuri attivati nei tre strati fotosensibili, formazione dell'immagine negativa in bianco e nero in ciascuno dei tre strati, seconda esposizione che attiva gli alogenuri non esposti, secondo sviluppo e formazione di Ag⁰ (argento metallico), formazione o rivelazione di coloranti complementari (giallo, magenta, ciano), ossidazione di Ag residuo. A parte il sistema Kodachrome che prevede l'aggiunta dei coloranti durante la fase dello sviluppo, gli altri sistemi cromogeni hanno i coloranti incorporati. Nel tempo, le Kodachrome si sono dimostrate le più stabili fra i materiali cromogeni.

Nel processo a distruzione dei coloranti, questi, invece di formarsi, vengono selettivamente distrutti dando origine ad immagini positive dirette. I tre strati fotosensibili (pellicole o carte) incorporano il colorante complementare al colore a cui lo strato è sensibile. Le varie fasi comprendono: esposizione, formazione dell'immagine latente, sviluppo (con formazione di argento metallico Ag⁰ e distruzione del colorante nelle zone esposte), trattamento di sbianca (l'argento metallico viene rimosso completamente e il risultato è una immagine positiva diretta). Questo processo è noto come Cibachrome/Ilfochrome ed è stato il metodo per stampare su carta le diapositive, molto apprezzato, soprattutto per i colori saturi e vivaci che lo caratterizzano.

Nel processo a sviluppo istantaneo, sistema di fotografia brevettato della Polaroid, i coloranti sono incorporati nell'emulsione. Nel processo a trasferimento di coloranti tre immagini (selezioni in bianco e nero) vengono trasferite a registro su un supporto in carta per produrre una stampa fotografica.

Oltre alle tecniche fotografiche vere e proprie, all'interno delle collezioni fotografiche sono presenti anche le tecniche fotomeccaniche, stampe derivanti da matrici inchiostrate e ottenute a partire da un negativo fotografico. Questi processi hanno occupato uno spazio importante nella storia della diffusione delle immagini affiancando la fotografia nel suo percorso evolutivo. Tra le tante, le due che hanno avuto un grande successo, dominando la riproduzione meccanica su larga scala delle fotografie dal 1870 al 1940 sono la fotocalcografia a grana e la collotipia, sia monocromatica sia in quadricromia. Inoltre vanno considerate anche le stampe digitali che nell'ultimo decennio hanno trovato grande applicazione (Wilhelm, 2006; Jürgens, 2009; IPI, 2014).

Per potere riassumere le caratteristiche salienti dei principali procedimenti fotografici analogici più noti e frequenti in archivi o fototeche, e dei principali procedimenti fotomeccanici (vedi paragrafo 8.4) si è ritenuto opportuno redigere delle schede tecniche (Namias, 1899, 1903, 1910; Chierchia, 19?; Ghedina, 1976; Reilly, 1980; Crawford, 1981; Reilly & McCabe, 1986; Mina & Modica, 1987; Nadeau, 1989; Scaramella, 1999; Messier & Tafilowski, 2007; Cartier-Bresson, 2008; Hannavy, 2008a, 2008b; Lavédrine *et al.*, 2008; García, 2009; Penichon, 2013; Stulik & Kaplan, 2013; Dalton, 2014).

8.2 Procedimenti argentici

8.2.1 Procedimenti monocromi

8.2.1.a Positivi diretti

Louis-Jacques-Mandé Daguerre scoprì, con molta probabilità in modo casuale, che anche una breve esposizione di una lastra sensibilizzata con ioduro d'argento riusciva a produrre un'immagine latente, la quale poteva poi essere rivelata con un trattamento di sviluppo ai vapori di mercurio. Il dagherrotipo, realizzato per la prima volta da Daguerre nel 1837, venne poi presentato ufficialmente il 7 gennaio del 1839 da Françoise Dominique Arago.

Il dagherrotipo (figg. 8.2-8.5a) è un positivo diretto in cui l'immagine si forma sulla superficie di una lastra di rame ricoperta di argento, lucidata a specchio e sensibilizzata con vapori di iodio (ioduro d'argento). Dopo l'esposizione l'immagine latente viene sviluppata con vapori di mercurio, esalati grazie al riscaldamento (intorno ai 90 °C) per circa tre minuti; il processo è dunque a sviluppo. Si forma così l'amalgama argento-mercurio che restituisce un'immagine negativa o positiva a seconda dell'angolazione della lastra. Un'alternativa ai vapori tossici del mercurio fu scoperta da Becquerel a pochi anni di distanza dalla presentazione del dagherrotipo e consiste nello sviluppare l'immagine alla luce solare attraverso uno schermo/filtro rosso. In questo modo i cristalli di ioduro d'argento diventano più grandi e visibili, anche se l'immagine finale non può vantare la finezza di quella sviluppata al mercurio. L'immagine deve essere poi comunque fissata con sodio tiosolfato (inizialmente fu usata una soluzione di cloruro di sodio) ed è possibile anche il rinforzo con cloruro d'oro.

Delicatissimo e instabile, il dagherrotipo veniva sempre montato e sigillato in eleganti astucci o cornici per impedire fenomeni di ossidazione. Trattamenti finali potevano consistere nella coloritura e, raramente, nella verniciatura. Si tratta di un'immagine unica, non stampabile, né duplicabile.



Fig. 8.2 - Dagherrotipo italiano, datato 5.12.1842



Figg. 8.3, 8.3a - Confezione chiusa del dagherrotipo di figura 8.2



Figg. 8.4, 8.4a - Dagherrotipo americano colorato, 1846 ca., nella confezione originale. Nel particolare di figura 8.4a è messa in evidenza la coloritura in oro della catena dell'orologio del soggetto



Figg. 8.5, 8.5a - Dagherrotipo inglese colorato, 1847, nella confezione originale. Nel particolare di figura 8.5a si evidenzia la coloritura apportata all'immagine

Un altro positivo diretto brevettato di James Ambrose Cutting del 1854 è l'ambrotipo (figg. 8.6 e 8.6a), variazione del processo al collodio inventato da Frederick Scott Archer nel 1851. Si tratta di un negativo su vetro che appare positivo se posto su un fondo nero che può essere di stoffa, velluto, carta, metallo verniciato (per esempio con una miscela di bitume di giudea ed essenza di lavanda). A volte erano impiegati vetri colorati porpora o ambra, oppure veniva verniciato direttamente il vetro. Il collodio era sensibilizzato con ioduro o, successivamente, bromuro d'argento; la sensibilizzazione con nitrato d'argento portava alla formazione di bromuro o ioduro d'argento fotosensibile. Dopo l'esposizione la lastra si sviluppava in pirogallolo con aggiunta di cloruro di mercurio o acido citrico; il fissaggio avveniva in tiosolfato di sodio.



Figg. 8.6, 8.6a - Ambrotipo inglese, 1870, nella confezione originale e dettaglio (fig. 8.6a)

Come per i dagherrotipi, gli ambrotipi venivano montati in astucci o cornici. Trattamenti finali potevano consistere nella coloritura, effettuata prima o dopo una verniciatura (la più comune era sandracca e olio di lavanda).

Correlata all'ambrotipia è la tecnica della ferrotipia (procedimento messo a punto da Adolphe Alexandre Martin nel 1852 e perfezionato da Hamilton L. Smith nel 1856) (fig. 8.7). Il ferrotipo (noto anche come *tintype* o *melainotype*) è un positivo diretto prevalentemente al collodio umido, tuttavia a partire dalla fine dell'Ottocento fu utilizzata anche un'emulsione a base di gelatina. L'immagine veniva impressionata direttamente su una sottile lastra di ferro verniciata di scuro (nera o bruna) a base di gommalacca o bitume di Giudea, olio di lino e nerofumo. L'emulsione più comune era a base di collodio mescolato a ioduro o bromuro di ammonio (oppure cadmio); stesa sulla lastra, veniva lasciata asciugare per procedere alla sensibilizzazione in nitrato di argento subito prima dell'esposizione. Le basse luci, sviluppate in solfato di ferro e acido nitrico e poi fissate in tiosolfato di sodio, risultavano più chiare rispetto allo sfondo nero, permettendo una lettura in positivo dei soggetti. Una vernice protettiva applicata a freddo, a base di gommalacca o di altre resine, completava la realizzazione subito prima del montaggio in cartoncino o in astucci e cornici alla stregua dei dagherrotipi e ambrotipi.

Il processo, di facile e rapida esecuzione, fu utilizzato soprattutto per la ritrattistica popolare e ha avuto una grande diffusione nei paesi anglosassoni e negli Stati Uniti d'America e minore nell'Europa meridionale. Veniva spesso montato in astucci o in cornici metalliche e trattamenti finali potevano consistere nella coloritura e nella verniciatura sopra citata.

<p>DAGHERROTIPO</p> <p>Periodo di utilizzo 1839-1855/60.</p>	<p>Supporto - lastra di rame argentata e lucidata. La lastra inizialmente fu prodotta in maniera artigianale, successivamente in serie.</p> <p>Legante - assente.</p> <p>Sostanza fotosensibile - AgI.</p> <p>Aspetto, texture - superficie specchiata. L'immagine positiva è speculare all'originale. Ai bordi dell'immagine si possono spesso evidenziare aloni scuri (blu tendente al nero) dovuti a fenomeni ossidazione e solforazione. Possibili i difetti nella preparazione della lamina d'argento, la presenza di graffi sulla superficie e i fenomeni di corrosione.</p> <p>Tonalità - grigio-argentea per le immagini non virate, tinte più calde per quelle virate all'oro.</p>
<p>AMBROTIPO</p> <p>Periodo di utilizzo 1851-1870 ca.</p>	<p>Supporto - vetro.</p> <p>Legante - collodio.</p> <p>Sostanza fotosensibile - AgI, AgCl.</p> <p>Aspetto, texture - superficie lucida. L'immagine, se posta su un fondo bianco, appare negativa (in luce trasmessa) e positiva, invece, se posta su un fondo scuro (in luce riflessa). L'immagine osservata per trasparenza non è speculare. Possibile la presenza di danni sulla vernice protettiva applicata per proteggere l'immagine nonché dello specchio d'argento (localizzato lungo i bordi delle immagini non verniciate o con uno strato di vernice molto sottile). Lo "specchio d'argento" è una alterazione di tipo ossidoreducitivo comune nei procedimenti in cui le particelle d'argento sono disperse in uno strato di legante. Si manifesta con un velo lucido di colore blu metallico a volte con sfumature gialle, verdi e viola (vedi scheda: carta a sviluppo alla gelatina).</p> <p>Tonalità - grigio-crema (in luce riflessa). I toni sono deboli.</p>
<p>FERROTIPO</p> <p>Periodo di utilizzo 1852-1930 ca.</p>	<p>Supporto - ferro.</p> <p>Legante - collodio, gelatina.</p> <p>Sostanza fotosensibile - AgI, AgCl.</p> <p>Aspetto, texture - superficie opaca o riflettente, di aspetto lattiginoso. L'immagine risulta invertita all'osservatore. I danni che possono presentarsi sono: sollevamenti della laccatura applicata, deformazioni del supporto, presenza di graffi sulla superficie del collodio e fenomeni di corrosione.</p> <p>Tonalità - grigio-avorio, mancanza di chiaroscuri e di dettagli.</p>



Fig. 8.7 - Ferrotypo americano, 1870

8.2.1.b Negativi

I primi esperimenti di William Henry Fox Talbot su carte sensibilizzate con cloruro di sodio e nitrato d'argento risalgono al 1834, al ritorno dal suo viaggio di nozze presso il lago di Como, durante il quale utilizzò un dispositivo per disegnare la camera lucida, con non poche frustrazioni. Ispirato dalle scoperte di Thomas Wedgwood e John Herschel sulla fotosensibilità dei sali d'argento, Talbot cominciò a perfezionare il suo processo sensibilizzando le carte ed esponendole alla luce solare, ponendo direttamente degli oggetti a contatto oppure inserendole in un altro dispositivo per il disegno, la camera oscura. L'immagine si formava per annerimento diretto con tempi che dipendevano dalla quantità di luce, dai pochi minuti necessari per una stampa a contatto, a qualche ora se fatta tramite una camera oscura. Per "fissare" l'immagine Talbot usò soluzioni di cloruro di sodio, ioduro di potassio e bromuro di potassio, ottenendo *nuances* di colori differenti e accattivanti. Per i "disegni fotogenici" (fig. 8.8) si estende spesso il significato alle stampe a contatto ad uso scientifico, in particolare per la riproduzione di esemplari botanici, realizzati anche tramite il processo cianotipico.

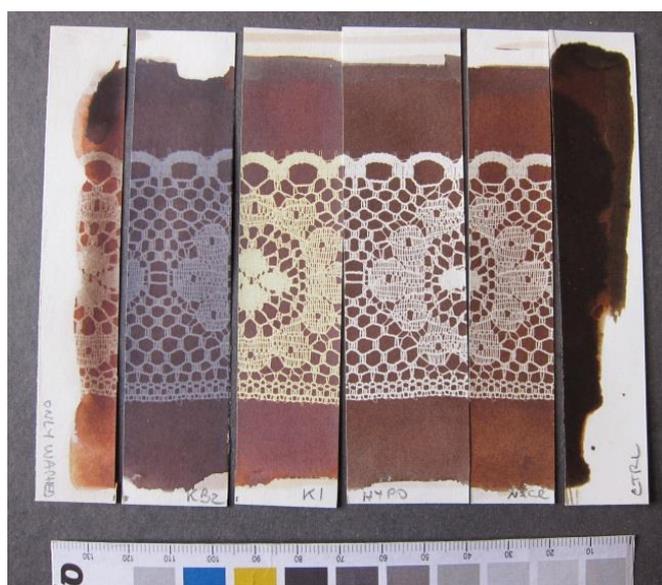


Fig. 8.8 - Disegno fotogenico contemporaneo

Realizzato su carta molto sottile, sensibilizzata con cloruro di sodio o ioduro di potassio e nitrato d'argento, il calotipo veniva poi sviluppato in acido gallico e nitrato d'argento e successivamente fissato. Gli esemplari più antichi erano fissati con bromuro di potassio, presto sostituito con tiosolfato di sodio. Il procedimento fu ottimizzato da Blanquart-Evrard, mentre Le Gray, nel 1851, ne propose una versione su carta cerata. L'effetto trasparente poteva essere ottenuto anche con gommalacca, oppure con oli o resine. Si possono trovare mascherature opacizzanti, specialmente per correggere i cieli e più genericamente le alte luci. I negativi su carta cerata, flessibili e maneggevoli, sono stati utilizzati per la fotografia di viaggio, durante le Missions héliographiques e le campagne archeologiche, sopravvivendo per circa un decennio dopo l'introduzione dei negativi su vetro, più difficili da trasportare per l'intrinseca fragilità. I negativi in carta sono stati impiegati per realizzare stampe su carta salata, carta salata albuminata e albumine.

DISEGNO FOTOGENICO	<p>Supporto - carta. Legante - assente, le carte venivano collate. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI. Aspetto, texture - l'immagine appare immersa nelle fibre della carta. Tonalità - bruna e lavanda se stabilizzata al bromuro d'argento, bruno-porpora e grigia se fissata al cloruro d'argento, bruna e gialla se fissata allo ioduro d'argento.</p>
<p>Periodo di utilizzo 1834-1842 ca.</p>	
NEGATIVO SU CARTA O CALOTIPO	<p>Supporto - carta. Legante - assente. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI. Aspetto, texture - superficie opaca. I toni sono invertiti. Le fibre della carta sono ben visibili; le carte generalmente molto sottili. A volte protetto da uno strato cerato o con carta cerata <i>ab origine</i>. Presenta spesso lacerazioni e crettature (minuscole lacune e piccole fessurazioni). Tonalità - bruno-seppia.</p>
<p>Periodo di utilizzo 1841-1860 ca.</p>	

L'impiego del vetro come supporto per i negativi consentì di eliminare i limiti dei negativi su carta.

Le lastre all'albumina furono il primo risultato delle ricerche effettuate per ottenere materiali fotografici trasparenti da utilizzare come negativi; il procedimento fu messo a punto da Félix Abel Niépce de Saint-Victor nel 1847. La proprietà di trasparenza del vetro e la possibilità di ritardare di qualche giorno le operazioni di sviluppo rispetto al momento della ripresa ne promossero l'utilizzo. Sulla lastra veniva versata una soluzione di albumina mescolata con ioduro e bromuro di potassio. Una volta asciutta, si sensibilizzava con nitrato d'argento addizionato ad acido acetico. Lo sviluppo avveniva versando sulla lastra dell'acido gallico e del nitrato d'argento, per rinforzare l'immagine; seguiva il fissaggio con tiosolfato di sodio e il lavaggio. Le lastre all'albumina erano meno sensibili del calotipo e per tale motivo vennero svolte numerose ricerche per migliorarne la sensibilità. Furono abbandonate quando nel 1851 Frederick Scott Archer rese pubblico il procedimento al collodio.

Il procedimento al collodio umido è stato praticato a lungo, in studio come in campagne documentarie, nonostante la difficoltà oggettiva di esecuzione e di trasporto dei materiali. Prevedeva la preparazione, l'esposizione e lo sviluppo immediato, poiché la forte fotosensibilità dell'emulsione non lasciava che pochi secondi di azione prima di compromettere la resa dell'immagine. La lastra veniva immersa in acqua, oppure coperta di miele per mantenerla umida in attesa del fissaggio, del lavaggio finale e della verniciatura. Per lo sviluppo, un metodo molto usato fu quello di versare dell'acido pirogallico oppure del solfato di ferro ammoniacale direttamente sulla lastra, a volte seguito da un'immersione in una soluzione di nitrato d'argento.

L'immagine veniva poi fissata con sodio tiosolfato o cianuro di potassio, lavata in acqua e, una volta asciutta, verniciata, prevalentemente con sandracca e olio di lavanda. Un altro metodo popolare fu quello di preparare una lastra di collodio, sensibilizzarla alla soluzione di nitrato e ricoprire la soluzione con albume iodurato. Le lastre al collodio secco (fig. 8.9) così preparate e seccate potevano essere conservate per più giorni ma la sensibilità diminuiva nel tempo.

La sospensione di gelatina, bromuro di potassio e nitrato d'argento applicata su vetro e lasciata seccare, permetteva l'utilizzo anche in tempi successivi, superando così le difficoltà intrinseche del procedimento al collodio. Tale proprietà, oltre alla sensibilità e alle qualità di conservazione della gelatina, permise l'affermazione industriale delle lastre alla gelatina (fig. 8.10). Richard L. Maddox fu il primo a realizzare un procedimento a secco e a pubblicare nel 1871, su "The British Journal of Photography", un articolo nel quale annunciava di aver messo a punto un sistema per sensibilizzare le lastre con un'emulsione alla gelatina anziché al collodio usando bromuro d'argento come elemento fotosensibile.



Fig. 8.9 - Particolare di lastra al collodio, 1870 ca.



Fig. 8.10 - Lastra alla gelatina (formato stereoscopico), anni '30

<p>NEGATIVO SU VETRO ALL'ALBUMINA</p>	<p>Supporto - vetro. Legante - albumina. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI. Aspetto, texture - i toni dell'immagine sono invertiti. La resa dell'immagine è elevata. Il vetro è tagliato artigianalmente. Può essere presente una finitura a vernice protettiva. Possibili cretature dello strato immagine che sovente tende a distaccarsi dal supporto di vetro. Tonalità - variabile dal grigio-crema con riflessi caldi fino al grigio verde a seconda dello sviluppo eseguito.</p>
<p>Periodo di utilizzo 1847-1860 ca.</p>	
<p>NEGATIVO SU VETRO AL COLLODIO</p>	<p>Supporto - vetro di notevole spessore, con taglio irregolare e di grande formato. Legante - collodio. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI. Aspetto, texture - superficie <i>matt</i> o <i>glossy</i> e generalmente irregolare. L'immagine è a tono continuo, i toni sono invertiti. Si differenziano per la sfumatura color "caramello" e per l'irregolarità dello strato di emulsione, dovuto al metodo di stesura (il collodio veniva versato al centro della lastra e lasciato espandere con leggeri movimenti basculanti). Lo strato protettivo a vernice serviva per ottenere un numero maggiore di positivi a contatto. Lo strato di collodio è molto sottile, mentre la vernice di protezione è più spessa. Lo strato di collodio quando non è verniciato tende a graffiarsi. Possono essere presenti tra l'altro cretature in gran parte dovute ad una non perfetta preparazione della lastra (lavaggio) o ad un fissaggio insufficiente. Tonalità - bruno calda, grigio-gialla, nera, blu-nera a seconda del rivelatore utilizzato.</p>
<p>Periodo di utilizzo 1851-1880 ca.</p>	
<p>NEGATIVO SU VETRO ALLA GELATINA BROMURO D'ARGENTO</p>	<p>Supporto - vetro di vario formato. La lastra di vetro è piana, di minimo spessore e con bordi regolari, poiché di fabbricazione industriale. Legante - gelatina. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI. Aspetto, texture - superficie <i>matt</i> e regolare, raramente vi sono strati supplementari protettivi a vernice. L'immagine è a tono continuo, i toni sono invertiti. Comuni sono le mascherature che servivano in fase di stampa. "Specchio d'argento" e distacchi dello strato immagine sono i danni più comuni. Possono essere presenti anche ingiallimenti. Tonalità - neutra, grigia e nero fredda.</p>
<p>Periodo di utilizzo 1878-1940 ca.</p>	

A partire dagli anni Ottanta dell'Ottocento, le gelatine bromuro d'argento su lastra di vetro si imposero sul mercato ma furono presto sostituite da supporti più leggeri e flessibili, in particolare dal nitrato di cellulosa e, in seguito, dal diacetato, dal triacetato e, più di recente, dal poliestere. Nel 1888 John Carbutt produsse pellicole in cellulose e nel 1889 la Kodak commercializzò pellicole in rullo in nitrato di cellulosa (figg. 8.11 e 8.11a).



Figg. 8.11, 8.11a - Pellicola in nitrato di cellulosa, anni '40, ripresa in trasparenza.

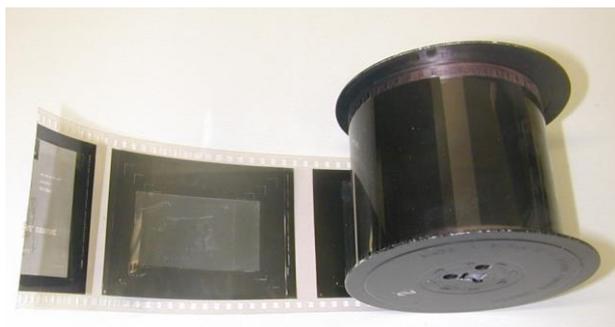


Fig. 8.12 - Pellicola microfilm in acetato di cellulosa, anni '70

Nel 1923 furono commercializzati film cinematografici in acetato di cellulosa (fig. 8.12) e poco più tardi altri esteri misti della cellulosa. Il nitrato fu abbandonato intorno al 1960, mentre nel 1948 fu impiegato per la prima volta il triacetato di cellulosa. Dal debutto, negli anni 1960, la maggior parte delle pellicole piane sono fabbricate su supporto in poliestere. I negativi vengono commercializzati in formati standard, sia come pellicole piane sia in rulli.

<p>NEGATIVO SU NITRATO DI CELLULOSA</p> <p>Periodo di utilizzo 1889-1950 ca.</p>	<p>Supporto - nitrato di cellulosa. Legante - gelatina. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI, AgBr. Aspetto, texture - l'ispezione macroscopica permette di distinguere il lato emulsione, più opaco, dal lato supporto e di notare l'eventuale verniciatura. Il deterioramento provoca deformazioni planari, rigonfiamenti, una colorazione ambrata e la perdita dell'immagine. Frequente la presenza di "specchio d'argento". Le pellicole possono emanare un odore pungente, dovuto all'<i>offgassing</i> di acido nitrico; negli stati più avanzati del degrado si possono evidenziare sbiadimenti dell'immagine, deformazioni, rigonfiamenti dell'emulsione, infragilimenti della pellicola fino alla sua totale trasformazione in una massa vischiosa. Tonalità - le pellicole in buone condizioni sono trasparenti e flessibili, di tonalità neutra, mentre quelle deteriorate mostrano una tonalità ambrata e sono particolarmente trasparenti, la pellicola è generalmente più sottile rispetto agli acetati.</p>
<p>NEGATIVO SU DIACETATO DI CELLULOSA</p> <p>Periodo di utilizzo 1935-1950 ca.</p>	<p>Supporto - diacetato (diacetato butirrato e diacetato propionato) di cellulosa. Legante - gelatina. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI, AgBr. Aspetto, texture - distinguibili il lato supporto, più lucido e il lato emulsione, più opaco. Frequente la presenza di "specchio d'argento". Tipica è la degradazione denominata "sindrome dell'aceto" con deformazioni del supporto, infragilimenti, sbiadimenti e comparsa di odore di acido acetico. Tonalità - neutra.</p>
<p>NEGATIVO SU TRIACETATO DI CELLULOSA</p> <p>Periodo di utilizzo dal 1948 in poi.</p>	<p>Supporto - triacetato di cellulosa. Legante - gelatina. Sostanza fotosensibile - AgCl, AgI, AgBr. Aspetto, texture - distinguibili il lato supporto, più lucido e il lato emulsione, più opaco. Può essere marcato con la dicitura <i>Safety</i>. Frequente la presenza di "specchio d'argento" e la "sindrome dell'aceto". Tonalità - aranciata.</p>
<p>NEGATIVO SU POLIESTERE</p> <p>Periodo di utilizzo dal 1955 utilizzato quasi esclusivamente per pellicole piane e per microformati.</p>	<p>Supporto - poliestere (P.E.T.). Legante - gelatina. Aspetto, texture - si distingue facilmente il lato emulsione dal lato supporto, più lucido. Può essere marcato con la dicitura <i>Estar</i> o <i>Cronar</i>. Se osservato in luce trasmessa, ogni lato della pellicola risulta luminoso, poiché nel poliestere la luce si propaga in più direzioni; nelle pellicole in acetato, invece, un lato rimarrà scuro, in ombra. Inoltre il poliestere crea un effetto iridescente se osservato tra due filtri polarizzatori, grazie alla sua proprietà birifrangente. Tonalità - neutra.</p>

8.2.1.c Positivi

Le carte salate (figg. 8.13 e 8.14) sono state le prime fotografie su carta. Venivano stampate a contatto a partire da un negativo, inizialmente realizzato in carta e in seguito su vetro, dopo il 1850. La carta era preparata con una soluzione di cloruro di sodio e poi sensibilizzata con nitrato d'argento. L'esposizione avveniva alla luce solare e l'immagine si formava per annerimento diretto. Il nitrato in eccesso, sale fotosensibile non ridotto, si eliminava grazie al fissaggio con tiosolfato di sodio proposto da John Herschel nel 1842. Sulle carte salate veniva spesso effettuato un trattamento di viraggio ai sali d'oro per modificare il tono cromatico e conferire stabilità all'immagine.

La stampa all'albumina (figg. 8.15-8.20) rappresenta il procedimento di stampa maggiormente utilizzato del XIX secolo ed è sostanzialmente un'evoluzione della carta salata. Il procedimento fu ottimizzato da Blanquart-Evrard che lo presentò nel maggio 1850 all'Accademia Francese delle Scienze. La carta veniva preparata con uno strato di albumina contenente cloruro di sodio o di ammonio e poi sensibilizzata con nitrato d'argento. Una volta formata l'immagine per annerimento diretto, la carta era fissata con tiosolfato di sodio e spesso virata all'oro. Il viraggio conferiva stabilità all'immagine e ricche tonalità bruno o bruno-porpora. Trattamenti finali potevano poi consistere nella smaltatura, coloritura o applicazione di vernici protettive, come per le carte salate.



Fig. 8.13 - Carta salata inglese ritoccata ad acquerello, 1843



Fig. 8.14 - Carta salata francese, fine Ottocento



Fig. 8.15 Stampa all'albumina inglese colorata all'acquarello, 17.2.1864



Fig. 8.16 Stampa all'albumina inglese colorata all'acquarello, 17.2.1864



Fig. 8.17 - Stampa all'albumina (da negativo in carta cerata), 1870 ca.



Figg. 8.18, 8.18a - Stampa all'albumina inglese, 1870 e particolare di figura 8.18



Fig. 8.19 - Ingrandimento al microscopio di stampa all'albumina. Sono visibili le fibre del supporto cartaceo



Fig. 8.20 - Stampa all'albumina (formato stereoscopico - *stereographs* o *french tissue*) per visione in trasparenza, fine Ottocento

Introdotte da Jean Laurent e José Martinez Sanchez col nome di carte leptografiche, le carte aristotipiche (figg. 8.21-8.24) ebbero successo commerciale fra gli anni Sessanta dell'Ottocento e gli anni Venti del Novecento. Si tratta di carte emulsionate alla gelatina o al collodio sensibilizzate con cloruro d'argento e sviluppate ad annerimento diretto. Inizialmente l'emulsione era stesa direttamente sulla carta; successivamente fu applicato il trattamento del baritaggiato sul supporto in carta prima della stesa dell'emulsione. Lo strato di barite permetteva di ottenere stampe più brillanti e di isolare la lettura dell'immagine dal "rumore" di fondo delle fibre della carta. Gli aristotipi alla gelatina potevano essere colorati in rosa, azzurro o violetto per mezzo di coloranti aggiunti allo strato di barite, al fine di contrastarne il naturale ingiallimento. Il trattamento di viraggio all'oro o all'oro-platino aveva anche la capacità di rendere più stabili le immagini.



Fig. 8.21 - Stampa alla gelatina ad annerimento diretto (aristotipia) francese, fine Ottocento



Figg. 8.22, 8.22a - Stampa al collodio *matt* italiana, primi Novecento. Nel particolare (fig. 8.22a) si evidenzia la finitura opaca tipica di questa tecnica



Figg. 8.23, 8.23a - Stampa al collodio *matt* austriaca, primi Novecento. Sul verso della stampa (fig. 8.23a) si evidenziano i marchi che identificavano i "prodotti" del fotografo e dell'editore (nome, località e indirizzo) e lo stemma della Reale Casa

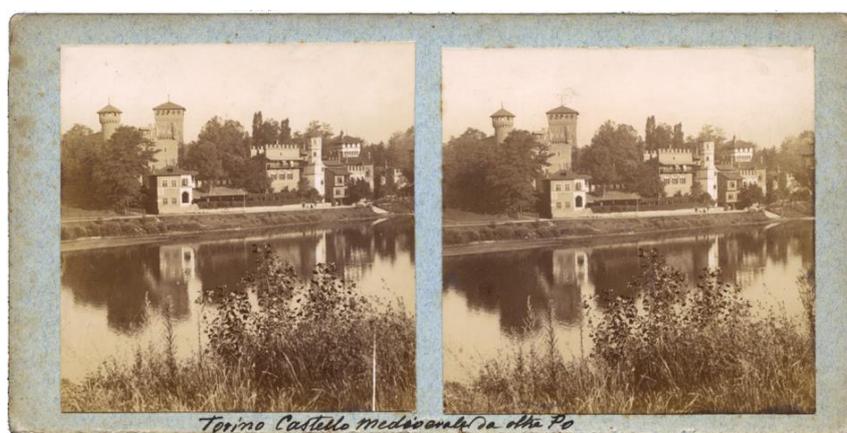


Fig. 8.24 - Stampa al collodio *matt* italiana (formato stereoscopico), 1919

Le carte alla gelatina a sviluppo (figg. 8.25-8.29) furono prodotte negli ultimi anni dell'Ottocento. La carta esposta veniva immersa nella soluzione di sviluppo nella quale avveniva la rivelazione, cioè la formazione dell'immagine per riduzione dell'alogenuro d'argento ad argento metallico. Il processo terminava con il consueto fissaggio a base di una soluzione di sodio tiosolfato e un eventuale viraggio.

Dopo il 1960 furono introdotte in commercio carte politenate (dette anche RC, *resin coated*), carte con supporto plastificato, che consistono in pacchetti complessi, multistrato, dove solo a volte permane un'anima in carta e dove lo strato di barite viene sostituito da polietilene microforato, oppure da un polimero addizionato con bianco di zinco o titanio per ottenere una base omogenea. Le emulsioni, con coloranti di varia natura, restano sempre a base di gelatina e bromuro d'argento.



Figg. 8.25, 8.25a - Stampa alla gelatina italiana, autovirante, primi Novecento.
Nell'ingrandimento (fig. 8.25a) si evidenzia la trama della carta
usata come supporto



Figg. 8.26, 8.26a - Stampa alla gelatina (formato cartolina), italiana,
anni '30. Nell'ingrandimento (fig. 26a) si evidenziano i colori
(probabilmente all'anilina) applicati manualmente



Fig. 8.27 - Stampa alla gelatina (formato cartolina),
italiana, anni '40



Fig. 8.28, 8.28a - Stampa alla gelatina cloruro d'argento francese Velox, 1931.
Sul verso dell'immagine è visibile il marchio del tipo di carta prodotta
dalla Eastman Kodak



Fig. 8.29 - Stampa alla gelatina Ilford semi matt, anni '70

<p>CARTA SALATA</p> <p>Periodo di utilizzo 1840-1910 ca.</p>	<p>Supporto - carta con grammatura elevata. Possibili aggiunte di amido, di caseina e di gelatina nella pre-collatura della carta di supporto o nella collatura addizionale (bagno di salatura durante la preparazione delle carte salate).</p> <p>Legante - assente.</p> <p>Sostanza fotosensibile - AgCl.</p> <p>Aspetto, texture - superficie opaca con immagine che appare immersa nelle fibre della carta. Una collatura (all'amido o alla gelatina) eseguita insieme al bagno di salatura, la rendeva più lucida e intensa. Le carte salate non virate presentano sbiadimenti con perdita di dettagli. Questa alterazione è tipica dell'argento fotolitico (dalle ridotte dimensioni e dalla forma tondeggianti).</p> <p>Tonalità - calda, dal rosso-marrone (stampe non virate) al bruno porpora (stampe virate all'oro).</p>
<p>CARTA ALL'ALBUMINA</p> <p>Periodo di utilizzo 1847-1920 ca., procedimento dominante tra il 1850 e il 1885.</p>	<p>Supporto - carta sottile di qualità (grammatura minore rispetto alle carte salate).</p> <p>Legante - albumina. Possibili aggiunte di amido o caseina.</p> <p>Sostanza fotosensibile - AgCl.</p> <p>Aspetto, texture - superficie satinata con immagine che appare sospesa sulle fibre della carta. Se trattata con vernici, la superficie è brillante. Le albumine non virate presentano sbiadimenti con perdita di dettagli: alterazione tipica dell'argento fotolitico.</p> <p>Tonalità - calda, dal rosso-marrone (stampe non virate) al bruno porpora (stampe virate all'oro).</p>
<p>CARTA AD ANNERIMENTO DIRETTO AL COLLODIO E ALLA GELATINA O ARISTOTIPO</p> <p>Carta celloidina (al collodio) Periodo di utilizzo 1865-1920.</p> <p>Collodio matt Periodo di utilizzo 1894-1920.</p> <p>Carta al citrato (alla gelatina) Periodo di utilizzo 1885-1920 ca.</p>	<p>Supporto - carta, carta baritata.</p> <p>Legante - collodio e gelatina.</p> <p>Sostanza fotosensibile - AgCl.</p> <p>Aspetto, texture - superficie liscia e generalmente lucida, tranne per collodio <i>matt</i>. La superficie liscia e brillante consentiva una maggiore definizione (usata anche per fotografia documentaria). I citrati si deteriorano per solfurazione, con perdita di dettaglio e sbiadimenti; le celloidine conservano perfettamente le immagini con ricchezza di dettaglio. Le carte al collodio <i>matt</i> furono usate per ritratti di alta qualità. La finitura opaca si otteneva con l'aggiunta di amido, silice o resine all'emulsione.</p> <p>Tonalità - calda, dal rosso-marrone al porpora grazie a viraggi all'oro o oroplatino.</p>
<p>CARTA A SVILUPPO ALLA GELATINA</p> <p>Periodo di utilizzo 1874 in poi.</p>	<p>Supporto - carta baritata o <i>fiber based</i> e carta politenata o <i>resin coated</i> (RC). Il supporto cartaceo nelle carte RC è rivestito da ambo i lati con polietilene addizionato con ossido di titanio che ha rapidamente sostituito il solfato di bario.</p> <p>Legante - gelatina.</p> <p>Sostanza fotosensibile - AgCl e AgBr.</p> <p>Aspetto, texture - superficie liscia, aspetto <i>matt</i>, satinato o brillante, le fibre della carta non visibili a causa dello spesso strato di barite. Le gelatine a sviluppo pur avendo una buona stabilità possono presentare sbiadimenti e ingiallimenti. Lavaggi finali insufficienti sono in grado di provocare solfurazioni con progressivi sbiadimenti dell'immagine. Spesso presente è lo "specchio d'argento" (prodotto di una catena di reazioni di ossidoriduzione e solfurazione con effetto dirompente a livello superficiale) che si manifesta con l'apparizione di un velo lucido di aspetto metallico, generalmente blu, a volte con sfumature gialle, verdi e viola. Tale manifestazione è più evidente nelle basse luci (massimo della densità argentea) piuttosto che nelle medie e questo per via della concentrazione dell'argento; la sua localizzazione segue per lo più un <i>pattern</i> tipico che può essere lungo i bordi, per 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. Le fotografie più recenti risentono molto meno di questa degradazione rispetto a quelle storiche.</p> <p>Tonalità - grigio-neutra in assenza di viraggio. Le prime carte <i>matt</i> non baritate presentavano tonalità neutre o blu-nere.</p>

8.2.2 Procedimenti a colori

8.2.2.a Autocromia

L'autocromia (fig. 8.30) fu il primo procedimento di fotografia a colori in tricromia prodotto industrialmente. I fratelli Lumière impiegarono fecola di patata impregnata dei tre colori fondamentali come base per un'emulsione che veniva stesa su una lastra di vetro preventivamente trattata con una vernice a base di caucciù. Lo strato di emulsione era molto sottile, in modo tale che i singoli granuli colorati risultassero giustapposti. Venivano aggiunte particelle di carbone più fini dei granuli per chiudere eventuali interstizi che potessero lasciar filtrare la luce bianca. La superficie era poi accuratamente livellata e coperta con una vernice impermeabile a base di resina Dammar disciolta in benzene, con lo scopo di evitare la migrazione dei coloranti e ottenere una miglior gamma di trasparenze. Al di sopra di tutto veniva stesa un'emulsione fotografica argentea, in bianco e nero, pancromatica. Si poneva davanti all'apparato di ripresa un filtro giallo per diminuire la sensibilità al blu dell'emulsione argentea e caricando la lastra in senso inverso, in modo che la luce colpisse prima lo strato colorato e poi lo strato sensibile. Le lastre sviluppate venivano protette da un doppio vetro fissato lungo i bordi con bande gommate nere. Le autocromie spesso erano vendute già montate nel loro dispositivo di visione storico, il Diascopio, un contenitore di legno o in metallo in cui l'autocromia, inserita in una slitta inclinabile, veniva osservata riflessa in uno specchio. L'osservazione corretta è dal lato opaco.

AUTOCROMIA

Periodo di utilizzo

1903-1933. Periodo di maggiore diffusione 1907-1931. La fabbricazione delle lastre fu sospesa nel 1932 e sostituita da *Filmcolor*, *Lumicolor* e *Alticolor* su supporto flessibile.

Supporto - vetro e successivamente celluloido.

Legante - gelatina e fecola di patata.

Sostanza fotosensibile - AgX.

Aspetto, texture - a piccolo ingrandimento si distinguono nettamente i granuli colorati. Fenomeni di ossido-riduzione a carico dell'argento si manifestano con macchie circolari color arancio, mentre la presenza di macchie verdi indica una migrazione di coloranti dovuta a fenomeni di umidità.

Tonalità - generalmente poco satura.

8.2.2.b Positivi, negativi e diapositive a sviluppo cromogeno

Le stampe a sviluppo cromogeno (figg. 8.31-8.34) consistono in immagini argentiche che in fase di sviluppo vengono sostituite da coloranti organici. Ogni casa produttrice ha offerto prodotti via via perfezionati, attraverso la ricerca su copulanti di colore più stabili e carte più semplici da processare, grazie a parametri standardizzati. Le diciture presenti sul *verso* delle carte è fondamentale per una loro identificazione completa. Sotto forti ingrandimenti (500x) sono visibili i coloranti, disposti a piccole macchie.



Fig. 8.30 - Autocromia, anni Trenta



Fig. 8.31 - Stampe a sviluppo cromogeno Kodak, 1960-1970



Fig. 8.32 - Stampa a sviluppo cromogeno, anni 1960, con tipica dominante dovuta a deterioramento dei coloranti



Fig. 8.33 - Prove di stampa dello stesso soggetto, su varie carte a colori con diverse finiture

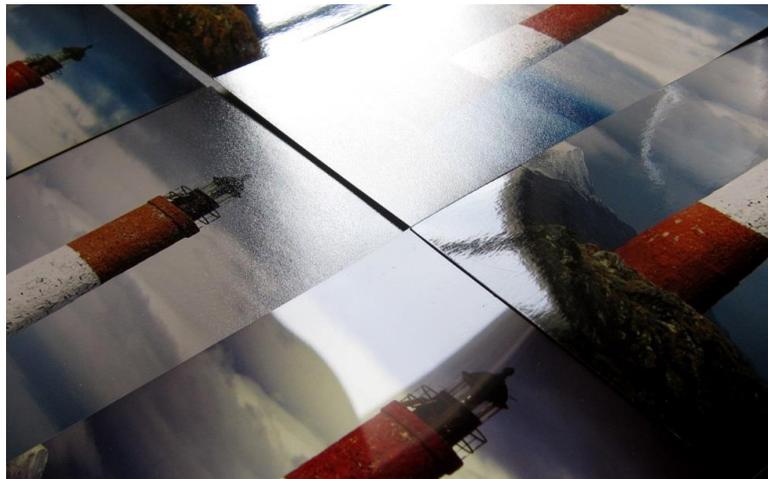


Fig. 8.34 - Prove di stampa dello stesso soggetto, fotografate in luce radente, su varie carte a colori con diverse finiture

Introdotti dalla Agfa nel 1939, i negativi su supporto flessibile a sviluppo cromogeno si diffusero in Europa soltanto dopo la fine della guerra. Il Kodacolor apparve invece sul mercato americano nel 1942. Per la loro realizzazione viene utilizzata la tecnologia del colore cromogeno, già adottata per le diapositive a partire dal 1935. I coloranti giallo, magenta e ciano si formano durante la fase di rivelazione cromogena; subito dopo, un bagno di sbianca permette di eliminare l'argento, necessario nelle emulsioni come agente fotosensibile. Le pellicole sviluppate presentano una colorazione aranciata: si tratta di una mascheratura funzionale al controllo del contrasto in fase di stampa. Dagli anni Ottanta vengono commercializzate pellicole a sviluppo cromogeno in bianco e nero, stampabili su carte cromogeniche o carte tradizionali b/n ai sali d'argento.

Nate nel 1935, utilizzate per la fotografia e per il cinema, le diapositive a sviluppo cromogeno (fig. 8.35) sono a rischio di deterioramento per via dell'instabilità dei coloranti (fanno eccezione le pellicole a copolanti non incorporati, come le Kodachrome) e per il degrado del triacetato (sindrome acetica), supporto utilizzato almeno fino agli anni '90. Quando non sono verniciate, le Kodachrome e alcune pellicole recenti sono riconoscibili per via dell'immagine a rilievo, ben visibile sul lato emulsione; tutte le altre, invece, hanno il lato emulsione regolare e omogeneo. Le diapositive sono montate in telaietti.

POSITIVO A COLORI SU CARTA	<p>Supporto - carta baritata, carta RC. Legante - gelatina e coloranti. Sostanza fotosensibile - AgX. Aspetto, texture - le fibre della carta non sono visibili a causa dello spesso strato di barite. Tonalità - colori saturi, spesso dominanti dovute al deterioramento dei coloranti.</p>
Periodo di utilizzo dal 1942 al 2010.	
NEGATIVO SU SUPPORTO FLESSIBILE	<p>Supporto - nitrato (<i>nitrate</i>), acetato (<i>Safety</i>) prima del 1952, triacetato (<i>Safety</i>) o poliestere (<i>Estar</i>) dopo il 1952. Legante - gelatina e coloranti. Sostanza fotosensibile - AgX. Aspetto, texture - multistrato osservabile solo sotto forti ingrandimenti. I negativi a colori precedenti agli anni Settanta sono soggetti al <i>dark fading</i>. Tonalità - aranciata.</p>
Periodo di utilizzo dal 1945 in poi.	
DIAPPOSITIVA E PELLICOLA INVERTIBILE SU SUPPORTO FLESSIBILE	<p>Supporto - acetato, triacetato e poliestere. Legante - gelatina e coloranti. Sostanza fotosensibile - AgX. Aspetto, texture - sotto forti ingrandimenti sono visibili i coloranti, disposti a piccole macchie. I materiali sono soggetti al <i>dark fading</i>. Tonalità - colori saturi, spesso dominanti dovuti al deterioramento dei coloranti.</p>
Periodo di utilizzo dal 1936 al 2010. La produzione delle Kodachrome è cessata nel 2009 ca.	

8.2.2.c Positivi e trasparenze a distruzione di coloranti

Le Cibachrome (sviluppate dalla Ciba-Geigy e presentate nel 1963) in seguito rinominate Ilfochrome con la cessione del brevetto alla Ilford, sono positivi diretti nati originariamente per stampare su supporto piano le immagini da diapositive. Si tratta di supporti in poliestere con emulsioni che contengono strati di coloranti azoici (giallo, magenta e ciano) e strati sensibilizzati all'alogenuro d'argento. Dopo l'esposizione, l'immagine viene sottoposta a un processo complesso di sviluppo.



Fig. 8.35 - Diapositiva a sviluppo cromogeno, anni Settanta, con dominante magenta

Durante la fase denominata di “sbianca” i coloranti corrispondenti all’immagine negativa vengono eliminati, avviene cioè una distruzione selettiva dei coloranti. Uno dei primi processi, il P-7a, comportava 7 tappe di trattamento; la Cibachrome A, introdotta nel 1974 comportava invece solo 4 tappe per un totale di 12 minuti di trattamento, rispetto ai 47 del precedente processo. La stessa tecnologia viene presto utilizzata per realizzare pellicole di alta qualità e permanenza, ad uso artistico o archivistico, ad esempio per realizzare microfilm e microfiche a colori. I coloranti azoici impiegati sono estremamente stabili, i colori risultano saturi e brillanti. Le carte Cibachrome e Ilfochrome recano quasi sempre la stampigliatura sul *verso*.

<p>POSITIVO E TRASPARENZA A DISTRUZIONE DI COLORANTI</p> <p>Periodo di utilizzo dal 1963 in poi.</p>	<p>Supporto - poliestere. Legante - gelatina e coloranti. Sostanza fotosensibile - AgX. Aspetto, texture - superficie <i>glossy</i>. L’immagine è caratterizzata da una ottima definizione. La superficie tende a graffiarsi con facilità. I colori sono stabili. Tonalità - colori saturi e brillanti.</p>
--	--

8.2.2.d Procedimenti a sviluppo istantaneo

Edwin H. Land fondò la Polaroid Company nel 1937 e diffuse le pellicole istantanee a partire dal 1948. Note soprattutto con il nome Polacolor e Polaroid, si tratta di pacchetti multistrato composti da un film plastico polarizzatore e strati che incorporano coloranti e agenti di sviluppo. Il “pacchetto” comprende quasi sempre una cornice bianca di forma e dimensioni variabili (figg. 8.36 e 8.36a). Le Polaroid possono essere verniciate (per preservare i colori) e a volte presentare imperfezioni e residui di sostanze di sviluppo. Nel sistema SX-70 il supporto negativo e quello positivo si trovano tra un foglio di poliestere trasparente e il trattamento si effettua automaticamente dopo l’esposizione. In concorrenza alle Polaroid SX-70 nel 1976 fu introdotto il PR10 che presentava fogli di poliestere da ambo le facce. Sui positivi del sistema a pacchetto tradizionale (quello che prevedeva la separazione dei due fogli negativo/positivo una volta fuoriuscito dalla macchina fotografica) si possono trovare residui dell’adesivo utilizzato per tenere in posizione i due fogli.

<p>PROCEDIMENTO A SVILUPPO ISTANTANEO</p> <p>Periodo di utilizzo dal 1948 al 2009.</p>	<p>Supporto - pacchetto multistrato di materiali plastici. Legante - gelatina e coloranti. Sostanza fotosensibile - AgX. Aspetto, texture - superficie <i>glossy</i>. Tonalità - colori instauri, spesso sbiaditi o con dominanti. I colori sono spesso deteriorati per la permanenza delle sostanze di sviluppo all’interno del pacchetto.</p>
--	--



Figg. 8.36, 8.36a - Verso di stampa Polaroid® in cui si evidenzia la cornice bianca. Dettaglio del marchio (fig. 8.36a)

8.2.2.e Processo per imbibizione (Kodak Dye Transfer Process)

Il Kodak Dye Transfer Process (*wash-off relief prints*) (fig. 8.37), il procedimento a colori più stabile della Kodak, è un processo per imbibizione la cui realizzazione risulta complessa. Fu utilizzato soprattutto per stampe d'autore a partire da pellicole cromatiche (negative o diapositive) o da pellicole pancromatiche in bianco e nero. Il sistema si basa essenzialmente sulle capacità di manipolazione dei negativi in bianco e nero di selezione esposti attraverso i filtri rosso, verde e blu. Dai negativi si ottengono per proiezione le matrici positive con gelatina in rilievo che vengono immerse nei coloranti e stese su carta. In pratica una tricromia con risultati eccellenti. Da ricordare sempre su carta baritata il Fuji Dyecolor processo simile al Dye Transfer che era disponibile in Giappone.

DYE TRANSFER	Supporto - carta baritata. Legante - gelatina e coloranti. Sostanza fotosensibile - AgX.
Periodo di utilizzo 1945-1993.	Aspetto, texture - superficie <i>glossy</i> . Una attenta osservazione dei margini della stampa mette in evidenza sovente tracce di colorante tipiche del procedimento. Tonalità - buona resa cromatica, eccellente è la riproduzione dei colori e delle tonalità associate ad un buon livello di bianco dei margini della carta.

8.3 Procedimenti non argentici

8.3.1 Procedimenti ai sali ferrici

Nei primi anni della nascita della fotografia furono provati altri sistemi che non impiegavano i composti dell'argento. L'astronomo John Herschel fu l'inventore, nel 1842, di una tecnica di stampa chiamata cianotipia (figg. 8.38 e 8.39), detta anche procedimento al ferro-prussiato, in cui l'immagine si formava per annerimento diretto.



Fig. 8.37 - Dye Transfer, americana, 1948

I materiali fotosensibili erano sali ferrici che, a seguito dell'esposizione alla luce, si riducevano a sali ferrosi, i quali, a loro volta, potevano ridurre altri sali o combinarsi con essi. La carta veniva preparata usando una soluzione a base di cloruro ferrico, citrato ammonio ferrico e ferricianuro di potassio, in percentuale variabile a seconda delle ricette pubblicate fra Ottocento e Novecento. L'esposizione alla luce trasformava il citrato ferrico in ferroso che a sua volta trasformava il ferricianuro nel blu di Prussia e blu di Turnbull. Possibili le finiture con colle d'amido o gelatina per proteggere le immagini.

In una variante della tecnica, detta crisotipia, fu sperimentato anche il cloruro d'oro come agente di sviluppo per sali di citrato ammonio ferrico (il relativo sale ferroso formatosi per l'azione della luce riduceva l'oro, che precipitava conferendo alla stampa tonalità porpora).

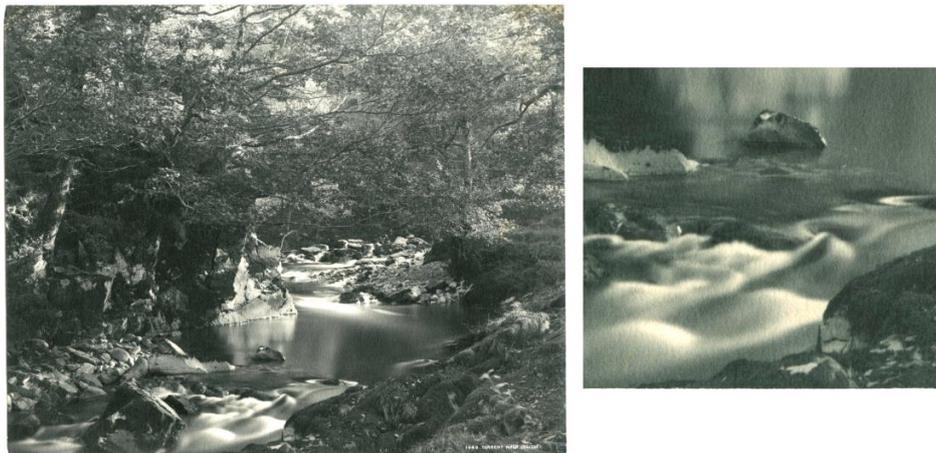
Anche le stampe Van Dyke sfruttavano la capacità del citrato ammonio ferrico di ridurre l'argento per conferire all'immagine tonalità brune. Tecnica simile, sempre a uno strato, con tonalità bruna, era la kallitipia, messa a punto da W.W.J. Nicol nel 1889, che utilizzava l'ossalato ferrico al posto dell'ammonio citrato ferrico, permettendo di avere maggiore contrasto rispetto alle stampe Van Dyke. Il controllo del contrasto è dato probabilmente anche grazie al bagno di sviluppo, a base di citrato di sodio. Oltre ai sali ferrici furono sperimentati altri materiali fotosensibili al fine di trovare una maggiore stabilità dal punto di vista chimico-fisico. Nel 1832 J. Herschel scoprì che alcuni sali di platino, in presenza di sostanze organiche, potevano essere chimicamente ridotti per azione della luce e nel 1873 William Willis brevettò il primo procedimento al platino (figg. 8.40, 8.40a e 8.41).



Fig. 8.38 - Cianotipia italiana, 1880



Fig. 8.39 - Cianotipia classica, 2008



Figg. 8.40, 8.40a - Stampa al platino contemporanea e dettaglio (fig. 8.40a) che mette in evidenza la trama del supporto in carta



Schilder, 1996

Jay Meuser

Fig. 8.41 - Stampa al platino, 1996

La tecnica sfrutta la capacità dei sali ferrici (ad es. l'ossalato ferrico), trasformati in ferrosi dalla luce, di ridurre i sali di platino (ad es. cloroplatinato di potassio) in platino metallico. La carta, preparata con una soluzione di ossalato ferrico e cloruro doppio di platino e potassio, dopo l'esposizione veniva immersa in una soluzione di ossalato di potassio, nella quale il sale ferroso riduceva il cloruro di platino in platino metallico, metallo nobile, che assicurava all'immagine un'ottima stabilità.

Utilizzate per la ritrattistica, ebbero successo anche tra i fotografi pittorialisti, grazie alla morbidezza dei toni. Durante la prima guerra mondiale il costo del platino aumentò tanto che la Eastman Kodak cessò la produzione delle sue carte al platino; cominciò l'epoca del palladio. Le stampe al palladio, a base di tetracloropalladato di sodio, avevano le stesse proprietà di stabilità di quelle ai sali di platino, erano molto meno costose e avevano soltanto una tonalità leggermente diversa.

<p>CIANOTIPIA</p> <p>Periodo di utilizzo 1842-1920, maggiore diffusione 1880-1920.</p>	<p>Supporto - carta. Legante - assente. Sostanza fotosensibile - sali ferrici. Aspetto, texture - superficie opaca che appare immersa nelle fibre della carta. Buona stabilità dell'immagine che non presenta sbiadimenti e alterazioni del colore originario. Tonalità - blu intensa.</p>
<p>PLATINOTIPIA E PALLADIOTIPIA</p> <p>Periodo di utilizzo 1873-1930 maggiore diffusione tra 1880-1915.</p>	<p>Supporto - carta. Legante - assente. Sostanza fotosensibile - ossalato ferrico, cloruro doppio di platino e potassio. Aspetto, texture - superficie opaca, l'immagine appare immersa nelle fibre della carta. La stabilità dell'immagine è buona e non presenta sbiadimenti. Tonalità - generalmente nero-neutra, ma anche nero-bruna o seppia.</p>

8.3.2 Processi ai sali di cromo

Altri procedimenti non argentici sono quelli basati sulla fotosensibilità dei sali di cromo, in particolare sulle loro proprietà fotoindurenti. Svvariati studi (Gustav Suckow, Mungo Ponton, Edmond Bequerel), portarono alla scoperta, a partire dal 1840, della sensibilità dei sali del cromo. Nel 1852 Talbot osservò che gomma arabica e gelatina diventavano insolubili se prima venivano miscelati con bicromati e successivamente esposti alla luce.

Le tecniche ai sali di cromo si basano sulla proprietà indurente dei bicromati quando sono mescolati con una sostanza colloide (gelatina, gomma arabica, albumina, gomma lacca). L'aggiunta di pigmenti (dal nerofumo, alle terre colorate) permette la formazione di un'immagine, poiché l'azione della luce trasforma il bicromato in ossido di cromo producendo l'insolubilizzazione del colloide proporzionalmente alla luce ricevuta. Le parti della fotografia corrispondenti alle alte luci vengono lavate con acqua calda che ha funzione simile a quella di un agente di sviluppo, mentre le zone corrispondenti alle ombre risultano insolubili grazie alla riduzione del bicromato.

Nel 1855 Alphonse Louis Poitevin, insignito del premio Duca di Luynes per la ricerca di processi stabili, realizzò le prime stampe al carbone (fig. 8.42), note per la loro buona stabilità chimica. Molti perfezionamenti furono apportati al procedimento di Poitevin che presentava difficoltà di riproduzione dei mezzi toni. In particolare, Joseph W. Swan mise in opera un perfezionamento della tecnica detta "doppio trasporto". Accoppiò un foglio gelatinato a quello esposto, così da ottenere, durante il lavaggio, un trasporto dell'immagine sul nuovo supporto. Si aveva un'immagine ribaltata a cui seguiva un ulteriore trasporto su un terzo foglio gelatinato, per ristabilire il giusto verso dell'immagine.

Modifiche e varianti furono in seguito proposte, come ad esempio il procedimento alla gomma bicromatata (fig. 8.43) ad opera di John Pouncy. In questo processo la carta del supporto primario era trattata con gomma arabica (che includeva pigmenti colorati) veniva sensibilizzata con il bicromato ed esposta alla luce con conseguente insolubilizzazione del colloide. Lo sviluppo dell'immagine comportava un trattamento con acqua a temperatura ambiente. Dalle tecniche ai pigmenti ha origine anche l'evoluzione della fotografia a colori. Louis Arthur Ducos du Hauron, nel 1868, realizzò le prime immagini in tricromia.

Anche le stampe carbro, inizialmente commercializzate dalla società londinese Autotype nel 1919, si basano sulla tecnica ai pigmenti, seppure a partire da stampe argentiche ottenute da negativi di separazione.



Fig. 8.42 - Stampa al carbone inglese, 1914

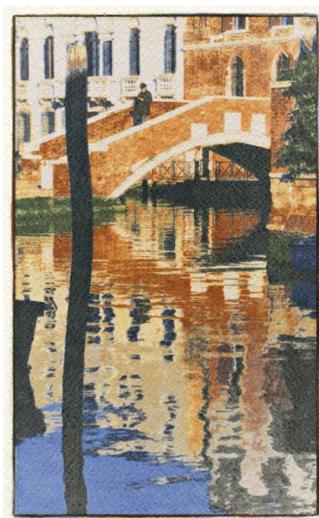


Fig. 8.43 - Stampa alla gomma bicromatata a colori separati (più negativi per ogni colore), 2002. Evidente è la grana molto accentuata della carta

**STAMPA AL
CARBONE**

Periodo di utilizzo
1855-1940 ca.

Supporto - carta.

Legante - gelatina con nerofumo o pigmenti colorati.

Sostanza fotosensibile - sali di cromo.

Aspetto, texture - superficie opaca o lucida. Le fibre della carta sono più visibili nelle alte luci e in luce radente si nota un rilievo nell'immagine dovuto al diverso spessore della gelatina; si possono visualizzare anche particelle di pigmento disperse nella gelatina. L'immagine non presenta sbiadimenti.

Tonalità - nera o bruna, alcune carte erano prodotte con colori diversi.

**STAMPA ALLA
GOMMA
BICROMATATA**

Periodo di utilizzo
1858-1930 ca., maggiore diffusione 1890-1920.

Supporto - carta.

Legante - gomma arabica con pigmenti.

Sostanza fotosensibile - sali di cromo.

Aspetto, texture - superficie opaca o lucida dall'aspetto "granoso". Le fibre della carta sono più visibili nelle alte luci dove lo strato di gomma è più sottile. L'immagine non presenta sbiadimenti ma può presentare rilievi dovuti al diverso spessore della gomma.

Tonalità - varia essendo molto ampia la gamma dei pigmenti usati.

8.3.3 Altri processi ai sali di cromo: processi agli inchiostri grassi

Il procedimento all'olio (anche detto "agli inchiostri grassi") fu inventato da Rawlins nel 1904 e si basa sull'immiscibilità della gelatina rigonfiata in acqua e gli inchiostri grassi o oleosi. Un'evoluzione del procedimento all'olio è il bromolio.

Il bromolio (figg. 8.44 e 8.45) fu inventato da C. Welborne Piper nel 1907 e da C.W. Hewitt nel 1909 nella versione a trasferimento. Piper aveva scoperto infatti come sbiancare una normale stampa al bromuro d'argento e indurirne l'emulsione alla gelatina; in questo modo si poteva trasformare una stampa al bromuro in una matrice alla gelatina pronta per essere inchiostrata con inchiostri grassi da stampa. Veniva realizzato un positivo alla gelatina e sali d'argento, omettendo l'indurimento della gelatina. Poi si effettuava una sbianca in bicromato di potassio, in grado di indurire la gelatina in proporzione alla densità dell'immagine. Il lavaggio eliminava la gelatina non indurita e l'argento dell'immagine. Si applicava quindi un colore ad olio, con pennello o con tampone, in modo da creare effetti pittorici o manipolazione dell'immagine. Questo aderiva soltanto nelle zone idrorepellenti dove la gelatina era indurita. Così facendo si poteva far asciugare l'immagine oppure si poteva trasferire su un altro supporto cartaceo. L'effetto finale era di un'immagine non definita, senza dettaglio ma di forte impatto artistico.

L'oleotopia è una variante della gomma bicromatata, pubblicizzata da G.E.H. Rawlins nel 1904 e riproposta, nonché migliorata, da R. Demachy a partire dal 1911. Un'emulsione alla gelatina non pigmentata preparata con bicromato di potassio viene esposta a contatto con un negativo. L'immagine è poi lavata, ma la gelatina non indurita non viene rimossa, semplicemente è rimosso l'eccesso d'acqua dalla superficie. A questo punto viene applicato del colore a olio, con un pennello, permettendo così la massima creatività nel manipolare l'immagine. Il colore ad olio aderisce alla gelatina indurita ma non a quella umida e non indurita. L'immagine può essere lasciata asciugare oppure essere trasferita su un'altra carta tramite un torchio calcografico.



Figg. 8.44, 8.44a - Stampa agli inchiostri grassi, anni Quaranta. È evidente la grana accentuata della carta



Fig. 8.45 - Stampa al bromolio contemporanea. È evidente la grana accentuata della carta

<p>BROMOLIO</p> <p>Periodo di utilizzo dal 1907 in poi.</p>	<p>Supporto - carta. Legante - gelatina. Sostanza fotosensibile - sali di cromo. Aspetto, texture - l'immagine prende la <i>texture</i> della carta e della gelatina, che producono un effetto "a grana grossa". Sotto ingrandimento si possono notare rilievi della gelatina dove c'è l'immagine e le fibre della carta dove l'immagine è assente. Immagine stabile. Tonalità - qualsiasi, determinata dal colore a olio usato.</p>
<p>OLEOTIPIA (OIL TRANSFER)</p> <p>Periodo di utilizzo dal 1911 fino agli anni Quaranta.</p>	<p>Supporto - carta. Legante - gelatina. Sostanza fotosensibile - sali di cromo. Aspetto, texture - la superficie riprende la <i>texture</i> della carta, l'aspetto è "a grana grossa" e sono presenti tracce delle pennellate. Il medium grafico è colore a olio, pertanto di norma l'aspetto è lucido. Immagine stabile. Tonalità - qualsiasi, data la possibilità di impiego di tutti i pigmenti preparati ad olio.</p>

Dagli anni Sessanta e Settanta vi è una ripresa nello sperimentare procedimenti fotografici storici apportando anche modifiche ai processi originali. Per stampare le immagini le tecniche più impiegate sono: le stampe ai sali di ferro, le stampe al platino, il bromolio, la resinotipia, la gomma bicromatata. Grande interesse è rivolto anche alla realizzazione di dagherrotipi e ambrotipi.

8.3.4 I processi di fotoreproduzione

La fotografia fu da subito utilizzata per la riproduzione di documenti e opere grafiche. A partire dalle cianotipie e dalle cianografie, si cercarono di sperimentare sin dall'inizio metodi alternativi di fotoreproduzione. La ricerca sui coloranti azoici, a fine Ottocento, condusse all'invenzione delle diazotipie (nel 1890) che utilizzavano i sali di diazonio, sali fotosensibili (diazocopolanti) in grado di trasformarsi in coloranti azoici.

Il procedimento si eseguiva attraverso l'esposizione diretta, la successiva sbianca dei sali di diazonio portava alla formazione di una copia positiva da contatto costituita dal sale di diazonio non decomposto (tonalità giallo chiaro e ancora fotosensibile), sviluppo con copulante (fenolo), formazione di un'immagine colorata azoica visibile e stabile. Disponibile in pellicola e carte (a partire dagli anni Trenta sotto il nome Ozalid), le diazotipie permettevano di riprodurre dettagli molto fini.

Dagli anni Settanta, questo processo è entrato in disuso, a seguito della diffusione massiccia delle fotocopiatrici elettrostatiche. Variante del procedimento precedente è il procedimento vescicolare, utilizzato per pellicole in piano e in rullo, in particolare per la realizzazione di microfiche e microfilm ad alto contrasto e a elevata risoluzione. L'azoto sviluppato nella decomposizione del diazocomposto genera, per riscaldamento delle piccole bolle all'interno di uno strato di resina termoplastica; il fissaggio dell'immagine si ottiene mediante un'ulteriore esposizione che decompone i composti diazo.

8.4 Procedimenti fotomeccanici

I processi fotomeccanici (Namias, 1899, 1913; Reilly, 1980; Crawford, 1981; Reilly & McCabe, 1986; Scaramella, 1999; Cartier-Bresson, 2008; Matè *et al.*, 2012) hanno occupato uno spazio importante nella storia della diffusione delle immagini, intrecciando la fotografia alla divulgazione popolare dei testi stampati. Essi possono essere suddivisi in base alla tipologia di preparazione delle matrici (fig. 8.46) e del tipo di trasferimento dell'inchiostro dalla matrice al supporto: si può parlare dunque di processi incavografici, planografici o rilievografici.

8.4.1 Processi incavografici

Tali processi incavografici utilizzano inchiostri stesi su lastre di rame incise e, più tardi, su cilindri. Tra i processi incavografici la più nota per bellezza e finezza è la woodburytipia o fotogliptia (fig. 8.47) inventata da Walter Bentley Woodbury nel 1864 e perfezionata nel 1866. Fu in seguito soppiantata dal procedimento a retino, dalla rotocalcografia e dalla coltotipia.

Il procedimento della fotocalcografia (calcografia a grana) (fig. 8.48), inventato da Karl Klič nel 1879, venne usato ampiamente nelle pubblicazioni d'arte sino agli anni Quaranta del Novecento. La stampa avveniva mediante un comune torchio per incisioni, su carta non collata, molto morbida e usata umida perché meglio si adattasse agli incavi della lastra pieni di inchiostro. Nel 1890, lo stesso Klič applicò un'importante modifica al procedimento portando all'invenzione della rotocalcografia (calcografia a retino) (figg. 8.49 e 8.49a).

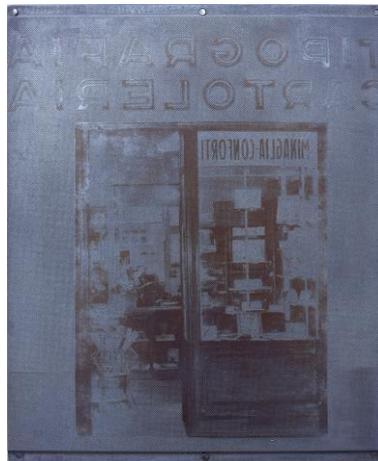
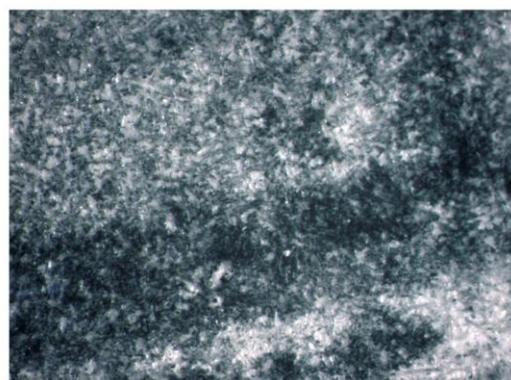
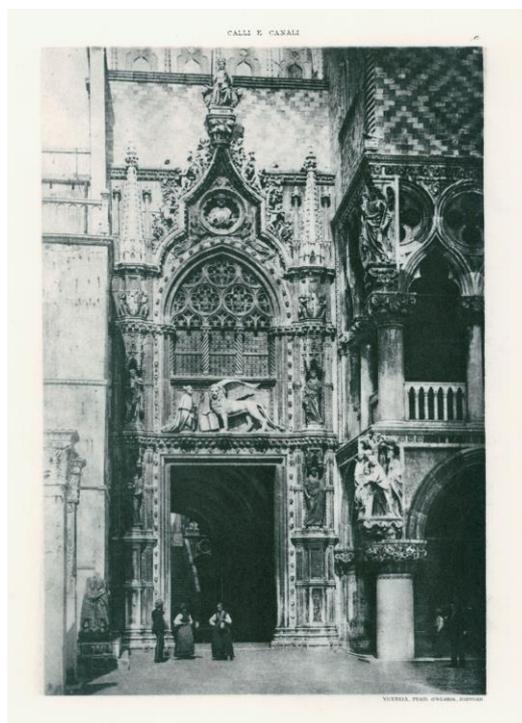


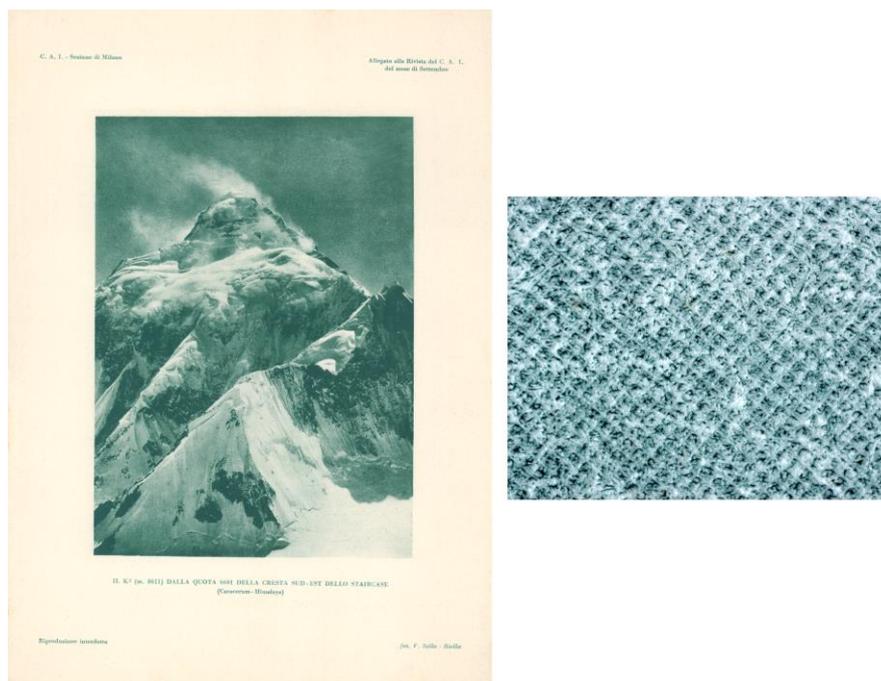
Fig. 8.46 - Cliché tipografico in zinco per stampa rilievografica degli anni Settanta del Novecento



Fig. 8.47 - Woodburytipia inglese, fine Ottocento



Figg. 8.48, 8.48a - Calcografia a grana o fotocalcografia, 1898 e relativo ingrandimento (40x). Si può notare la trama a grana molto morbida (fig. 8.48a)



Figg. 8.49, 8.49a - Calcografia a retino, 1930 ca. e relativo ingrandimento (40x). Il retino è a linee incrociate con una serie di quadrati di dimensione costante (fig. 8.49a)

WOODBURYTIPIA O FOTOGLIPTIA

Periodo di utilizzo
dal 1866 al 1900 ca.

Supporto - carta.

Aspetto, texture - superficie *semimatt* o lucida. Si può evidenziare in luce radente un rilievo nell'immagine dovuto al diverso spessore della gelatina. Nelle aree più chiare, sotto ingrandimento, si possono notare particelle di pigmento disperse nella gelatina. L'aspetto è fine e omogeneo, il tono è continuo. In mancanza di dicitura è difficile distinguerlo dal processo al carbone (ai pigmenti), da cui deriva. Immagine stabile essendo costituita da inchiostro.

Tonalità - a seconda dei pigmenti usati, generalmente bruna o nera, neutra.

FOTOCALCOGRAFIA A GRANA

Periodo di utilizzo
dal 1879 in poi.

Supporto - carta.

Aspetto, texture - superficie *matt* o *semimatt* in base al supporto cartaceo. La fotocalcografia presenta una buona riproduzione dei dettagli e una trama a grana, molto morbida, dovuta alla presenza del bitume attraverso cui avviene la corrosione della lastra, come per le incisioni all'acquatinta. Le fibre della carta sono ben visibili. La rotocalcografia, invece, è caratterizzata dalla presenza di un retino a linee incrociate. Immagine stabile essendo costituita da inchiostro.

Tonalità - cambia in base al colore dell'inchiostro, con variazioni tonali che dipendono dalla quantità di inchiostro stesso depositato sulla carta.

ROTOCALCOGRAFIA A RETINO

Periodo di utilizzo
dal 1890 al 1970 ca.

8.4.2 Metodi planografici

I metodi fotomeccanici planografici sono eredi della litografia. Usano inchiostri grassi su pietre porose (fotocromia), su lastre metalliche, su lastre di cristallo preparate con gelatina bicromatata (collotipia) e su cilindri per offset.

La collotipia (figg. 8.50 e 8.50a), proposta da Joseph Albert nel 1868, rappresenta la tecnica di maggiore resa qualitativa ed estetica. La collotipia era stampata su carta pressata a caldo o patinata; la stampa si presentava normalmente con superficie *matt* o *semimatt*, ma poteva anche essere verniciata con gommalacca per ottenere una finitura lucida, oppure essere trattata con albumina indurita con cadmio bromuro o gelatina indurita con allume.



Figg. 8.50, 8.50a - Collotipia monocromatica della fine dell'Ottocento e relativo ingrandimento (40x) (fig. 8.50a). Il reticolo vermicolare è tipico di questo procedimento

Caratteristica importante della stampa collotipica era la possibilità di produrre ottime immagini in duotone e in quadricromia. Il tipico *pattern* vermicolare della collotipia può a volte essere talmente fine da farlo sembrare praticamente a tono continuo, come accade nelle vere fotografie. Le delicate mezze tinte sono riprodotte con la più scrupolosa fedeltà, e anche i pieni sono paragonabili a quelli che si ottengono dalle incisioni in rame. L'immagine è nitida e precisa e le tinte ricche di mezzi toni rendono questo tipo di stampa uno dei più bei processi fotomeccanici.

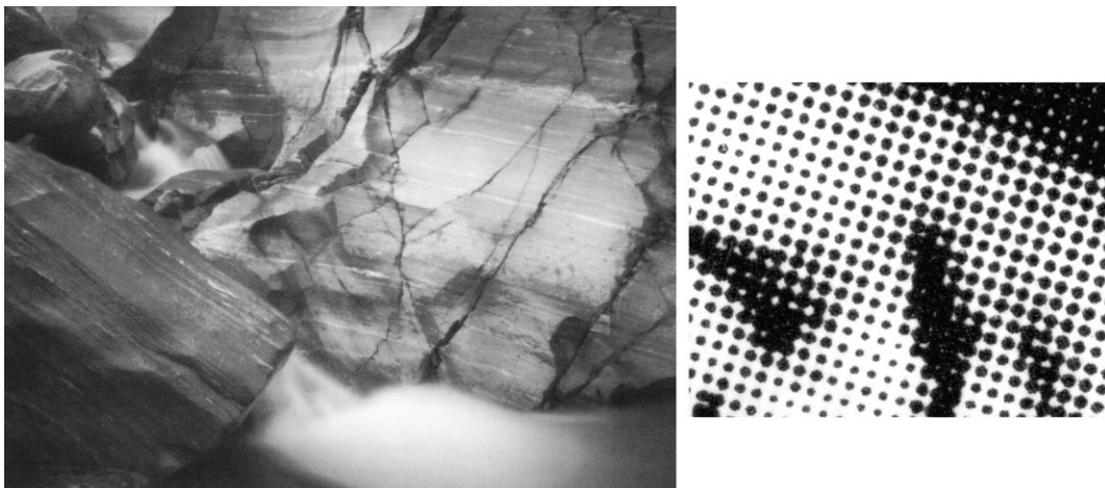
Nel 1888 Hans Jakob Schmid brevettò il processo Photochrom (fig. 8.51), in grado di restituire stampe a colori di grande fascino. Le fotocromie presentano spesso una superficie lucida e vengono realizzate grazie all'uso di più lastre litografiche stampate a registro. La gradazione tonale dell'immagine è dovuta alla variazione di quantità di inchiostro depositato sulla carta, oltre alla sovrapposizione dei colori. La trama è a grana fine e morbida, come per le stampe litografiche.

Il metodo planografico che a tutt'oggi domina la scena tipografica è l'offset (fig. 8.52). Il processo ha origine nei primi anni del secolo XX negli Stati Uniti e in Germania, poi introdotto in Inghilterra e, dal 1914 circa, in Francia. La caratteristica dell'offset è di non essere un metodo di stampa diretto: di fatto, la matrice stampante deposita l'inchiostro su un rullo di caucciù che a sua volta lo posa sul foglio di carta. La matrice presenta una trama a retino, a punti circolari o quadrati, di dimensione variabile tra le alte e le basse luci.

COLLOTIPIA	Supporto - carta. Aspetto, texture - superficie generalmente <i>matt</i> o <i>semimatt</i> , ma poteva essere verniciata con gommalacca, albumina o gelatina. Presenta, sotto ingrandimento, un <i>pattern</i> vermicolare molto caratteristico, a volte estremamente fine. Tonalità - varia a seconda degli inchiostri usati. Le gradazioni sono dovute alle variazioni di concentrazione del colore nelle differenti aree inchiostrate.
Periodo di utilizzo dal 1868 in poi.	
PHOTOCHROM	Supporto - carta collata o baritata. Aspetto, texture - superficie <i>matt</i> o <i>semimatt</i> a seconda delle carte e delle vernici usate come finitura. Trama a grana fine. Tonalità - varia a seconda degli inchiostri usati.
Periodo di utilizzo dal 1888 al 1930 ca.	
OFFSET	Supporto - carta. Aspetto, texture - superficie generalmente lucida. È visibile il retino, dai punti regolari con contorni leggermente sfumati. Tonalità - varia a seconda della quantità di inchiostri depositati sulla carta.
Periodo di utilizzo dal 1900 in poi.	



Fig. 8.51 - Photochrom, 1890-1910



Figg. 8.52, 8.52a - Stampa offset, 1990 e relativo ingrandimento (40x). Visibile il mosaico regolare, con contorni non nitidi, quasi sfumati e di dimensioni variabili (fig. 8.52a)

8.4.3 Metodi rilievografici

Le ricerche di Charles Guillaume Petit (1878), di Frederic E. Ives (1881) e di Georg Meisenbach (1883) portarono all'invenzione di un metodo di stampa denominato similgravure (figg. 8.53 e 8.53a), detta anche mezzatinta, un metodo di stampa rivoluzionario che, grazie alla scomposizione dell'immagine mediante un retino, permetteva di riprodurre una fotografia contestualmente al testo scritto. Fu lentamente ma totalmente sostituita dalla stampa a mezzatinta offset dal 1950. Come per le altre tecniche fotomeccaniche, potevano essere realizzate più matrici, stampate poi a registro, per ottenere immagini a colori

STAMPA A RILIEVO

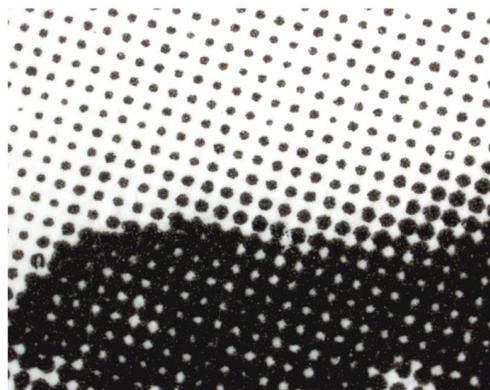
Supporto - carta.

Aspetto, texture - superficie *matt* o *semimatt* a seconda del tipo di carta usata.

L'immagine è formata da un mosaico di microcelle. Le fibre della carta sono ben visibili. I punti hanno un aspetto caratteristico, più chiaro al centro e più denso sui contorni, dovuto alla fuga dell'inchiostro presente sulle aree a rilievo del retino durante lo schiacciamento della matrice contro la carta da stampare.

Periodo di utilizzo
dal 1900 in poi.

Tonalità - varia a seconda della quantità di inchiostri e del loro colore.



Figg. 8.53, 8.53a - Fotografia stampata in rilievografia. Visibile il mosaico regolare nell'ingrandimento (40x) di figura 8.53a

Capitolo 9

Infestanti e problematiche di restauro conservativo

Federica Delia

È noto che gli insetti e i roditori, in particolare quelle specie che sono solite infestare le collezioni archivistiche e librerie, sono attratti tanto dalla carta quanto da adesivi e collanti: alcuni prediligono, infatti, la cellulosa e dunque i materiali che ne sono ricchi, (quali legno, carta e cartone), altri, invece, si nutrono di proteine. Quindi ricercano prevalentemente pelle, pergamena, adesivi come l'amido e la gelatina, ma si possono cibare anche delle emulsioni fotografiche, molto spesso costituite da materiali proteici (albume d'uovo, gelatina ecc.) (Story, 1985; Pinniger, 1994; Florian, 1997).

Il danno avviene quando gli insetti e/o i roditori si rinfocano tra i materiali o quando ne traggono risorse di alimentazione e accrescimento spendendovi l'intero ciclo di vita e trovandovi la morte. Le conseguenze sui beni sono spesso devastanti e irreversibili, specialmente in ambienti poco controllati o poco frequentati dove tali organismi possono agire indisturbati: abrasioni, macchie, gore, fori e perdite di materiale, sono solo alcuni dei danni che si possono riscontrare a seguito di un attacco entomologico o dell'azione di roditori. Le fotografie non sono danneggiate solo dal punto di vista della loro composizione fisico-chimica e strutturale, ma anche e soprattutto nella loro estetica, spesso senza rimedio.

Un danno è qualcosa che ha effetto sul nostro livello di percezione o gradimento, o qualcosa che causa un peggioramento delle condizioni e della durata di vita di un oggetto. Esso può essere determinato paragonando due stati: quello corrente a seguito di un'azione indebita e lo stato iniziale in cui il danno non era ancora avvenuto (Ashley-Smith, 1995).

Compito del restauro sarà tentare di arginare gli effetti del deterioramento che hanno portato ad un'alterazione del materiale originale, principalmente operando una pulitura, ripristinando la struttura e le caratteristiche di robustezza e resistenza dei supporti e preservando quanto più possibile il valore storico-estetico del materiale fotografico. Infatti, come definito da Cesare Brandi: "Il restauro costituisce il momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte, nella sua consistenza fisica e nella sua duplice polarità estetica e storica, in vista della sua trasmissione al futuro" (Brandi, 1977). Un restauro ben eseguito, perciò, non può prescindere dal tenere in considerazione entrambi gli aspetti, storico ed estetico, e dall'intervenire con rispetto sulla materia dell'opera, cercando di modificarla il meno possibile.

Solo in tempi molto recenti la fotografia è entrata a pieno titolo a far parte dei beni culturali ed ha acquisito valore storico-artistico, come solo ultimamente il restauro della fotografia sta diventando una disciplina sempre più autonoma e definita, da inserire come settore nuovo e distinto accanto alle più tradizionali discipline di conservazione e restauro di altri materiali, quali i dipinti o la carta, da cui trae le proprie basi deontologiche. Sebbene il restauro fotografico sia quindi sempre più valutato e considerato nella sua specificità e sebbene all'estero sia una disciplina regolamentata da valide linee guida, in Italia si vede spesso accorpato senza una debita distinzione al settore del restauro dei beni archivistici e librari (Petrillo, 2010). E tuttavia, molto si distingue dall'arte pittorica o dal disegno l'oggetto fotografico, che va considerato nella sua duplice forma di negativo e positivo, matrice e stampa, pezzo unico o riproducibile in mol-

teplici copie, prodotto artigianalmente o a tiratura industriale, generato da procedimenti chimici o fotomeccanici, verniciato, mascherato, ritoccato ecc.; tutti elementi che concorrono ad aumentarne la complessità e a far sorgere dubbi e incertezze in fase di conservazione e restauro.

Nonostante la storia della fotografia non arrivi a coprire nemmeno un arco temporale di un paio di secoli, l'estrema deperibilità dei materiali fotografici, la loro sensibilità verso gli agenti atmosferici e i biodeteriogeni e la scarsa considerazione nel passato in ambito conservativo, oggi impongono interventi urgenti di restauro e ricondizionamento, spesso legati proprio alla necessità di trattare materiali danneggiati da infestanti, poiché collocati in ambienti non idonei che ne hanno favorito la proliferazione.

Un primo approccio al materiale danneggiato sarà quello di individuare la tipologia, nonché la natura e la composizione dell'immagine fotografica, identificandone il procedimento. Tale identificazione funge a diversi scopi: potrebbe essere necessaria per datare una fotografia o il suo soggetto, autenticare la sua provenienza, ma in particolare risulta determinante nella scelta del trattamento di restauro da operare.

Tuttavia, l'identificazione dei processi fotografici a volte è scoraggiante: nel corso dei secoli XIX e XX, infatti, furono inventate numerose tecniche differenti e molte passarono rapidamente di moda, pertanto può essere anche estremamente difficile la loro individuazione. I metodi per il riconoscimento sono vari: alcuni è bene che siano adottati solo da esperti, ma generalmente le fotografie storiche possono essere accertate "ad occhio nudo", o con strumenti a basso potere di ingrandimento, come lenti contafili, o attraverso microscopi ottici. Di aiuto possono essere anche validi testi di riferimento sull'argomento (Eastman Kodak Company, 1985; Reilly & McCabe 1986; Nadeau, 1989; Scaramella, 1999; Lavédrine, 2009) e certamente l'esperienza garantisce un'analisi sempre più efficace e corretta.

Contestualmente all'identificazione della tecnica fotografica, sarà cura del restauratore annotare in una scheda di restauro tutti i dati descrittivi per ciascun esemplare da sottoporre ad intervento, quali autore, titolo, soggetto, datazione, dimensioni e/o formato, riferimento al numero di inventario, eventuali montaggi o elementi di particolare rilievo (timbri, note, ritocchi ecc.). La scheda dovrà contenere una sezione in cui riportare i vari danni riscontrati e prevedere dei campi in cui poter inserire eventuali note di descrizione dello stato di conservazione. Scopo della scheda, affiancata a una dettagliata documentazione fotografica dello stato in cui si presenta l'opera prima e dopo il restauro, è di registrare le condizioni a seguito del danno e fornire una testimonianza degli effetti dell'intervento e di eventuali modifiche che esso possa aver comportato sul bene fotografico. In tal modo è possibile lasciare una traccia di ciò che è stato svolto attraverso la descrizione dei trattamenti effettuati e dei materiali, adesivi e solventi utilizzati.

9.1 Trattamenti sui supporti

Un progetto di restauro, e dunque l'ipotesi dei trattamenti da effettuare, dovrà tenere in considerazione prima di tutto la natura del supporto della fotografia, che può variare dal metallo al vetro, alla carta, materiali dalle caratteristiche di duttilità, malleabilità, resistenza, durabilità nel tempo molto diverse.

Queste stesse proprietà non solo condizionano drasticamente la fattibilità delle operazioni di restauro, ma sono determinanti anche nella diversificazione della tipologia di danno prodotta da insetti e roditori. Infatti, mentre una stampa fotografica risulta spesso quasi interamente costituita da materiali organici, dal legante dello strato im-

magine (albume, gelatina ecc.) al supporto primario, all'eventuale supporto secondario e relativo adesivo (amido, colla di farina, gelatina ecc.), costituendo valida fonte di nutrimento in ogni sua parte, i procedimenti unici quali dagherrotipi, ambrotipi e ferro-tipi, e i negativi su vetro o su pellicola in genere sono interessati da danni più circoscritti al solo strato dell'emulsione.

Le proprietà meccaniche e le caratteristiche fisico-chimiche della carta, se da un lato sono indice di una maggiore vulnerabilità dei positivi fotografici all'attacco entomologico o di roditori, e spesso comportano danni maggiormente estesi, dall'altro lato si rivelano un vantaggio in fase di trattamento di restauro, poiché i supporti cartacei possono essere ricostruiti, rinforzati e consolidati con maggiore efficacia e l'intervento di risarcimento, se eseguito correttamente, è totalmente reversibile. Al contrario, le proprietà fisiche e meccaniche di materiali come il ferro o il rame, le pellicole e il vetro, costringono il restauratore a un approccio più limitato.

9.1.1 Pulitura a secco e a umido

Nella maggior parte dei casi la prima fase di un intervento di restauro che interessa beni danneggiati da insetti o roditori, consisterà in una minuziosa depolveratura a pennello o con microaspiratore che elimini qualsiasi deposito di rosario, polvere e/o sporcizia, nonché in una delicata pulitura a secco con l'ausilio di bisturi, spatole, gomme, pompette ad aria, per asportare eventuali concrezioni e/o residui organici, avendo cura di non abradere o incidere le superfici (figg. 9.1, 9.1a e 9.2). A proposito delle gomme possono essere adoperate con le dovute distinzioni sul *verso* dei supporti cartacei (Wishab, Smoke-off sponge ecc.), solo ove possibile anche sul lato dell'emulsione (Pentel ZF-11). In nessun caso sono da utilizzarsi nella pulitura di procedimenti fotografici unici o di negativi su lastra di vetro o pellicola (Cattaneo, 2013).



Fig. 9.1 - Deiezioni determinate da blattoidei sul verso di una stampa all'albumina priva di montaggio



Fig. 9.1a - Dettaglio delle macchie sulla stampa all'albumina di fig. 9.1, prima dell'intervento di pulitura



Fig. 9.2 - Dettaglio delle macchie dopo la pulitura

Un ulteriore ostacolo all'operabilità del restauro è costituito dal fatto che le fotografie sono oggetti polimaterici complessi e che i materiali di cui esse sono composte reagiscono e rispondono molto diversamente ai vari trattamenti.

La permeabilità del supporto è un altro fattore condizionante in fase di pulitura ad umido; mentre a contatto con il vetro o con le pellicole non si pongono particolari problemi, nel caso dei metalli sarà necessario agire con maggiore accortezza laddove siano presenti graffi o imperfezioni superficiali che potrebbero provocare reazioni impreviste o il ristagno del solvente e il conseguente generarsi di microclimi nocivi. Ancor più attenzione va riposta nel trattamento ad umido dei supporti cartacei, dove porosità e permeabilità costituiscono un rischio anche durante l'azione sul *verso* della fotografia: così, ad esempio, laddove siano presenti gore sul *verso* di un positivo su carta, e quindi si renderebbe necessario un lavaggio in soluzione acquosa o idroalcolica per ottenerne la completa rimozione, in effetti la scelta del trattamento da eseguire sarà vincolata principalmente alle caratteristiche di solubilità del legante dell'emulsione o alla stabilità dell'immagine fotografica. In ogni caso l'utilizzo di solventi dovrà essere sempre dosato e controllato e frequentemente ci si potrà trovare nell'impossibilità di intervenire ad umido a causa dell'estrema solubilità dello strato immagine.

Prove di solubilità e misure del pH dovrebbero anticipare qualsiasi operazione di pulitura e, unitamente all'identificazione del processo fotografico, dovrebbero assicurare la possibilità di optare o meno per uno o l'altro trattamento a solvente. La misura del pH è da effettuarsi per i supporti cartacei, il cui degrado può provocare un abbassamento del pH naturale della carta; l'acidità che ne consegue può fungere da catalizzatore di reazioni di idrolisi della cellulosa. In particolare, le carte fotografiche otto-novecentesche sono caratterizzate da composizioni molto ricche di lignina e il più delle volte manifestano una forte tendenza all'ossidazione. In tali casi trattamenti di deacidificazione o di riduzione possono rendersi indispensabili per arrestare questi processi.

Di norma la scelta si orienta tra l'uso di acqua, alcool etilico o la miscela dei due in soluzioni idroalcoliche le quali possono assumere diverse percentuali di concentrazione

a seconda del grado di penetrazione del supporto che si vuole ottenere o della velocità di evaporazione di cui si necessita.

Per l'applicazione del solvente è possibile utilizzare diversi metodi da scegliersi accuratamente e puntualmente secondo la superficie da trattare. Nei casi più delicati l'uso di un tavolo aspirante a bassa pressione, che consente un maggior controllo in fase di umidificazione e una rapida asciugatura del supporto, può rivelarsi l'unico modo di operare.

Attraverso la pulitura si potranno attenuare o eliminare del tutto le tracce del passaggio degli infestanti sulle superfici, quali macchie e depositi superficiali, ma nel caso dei supporti cartacei ci si troverà spesso a dover procedere nell'intervento con il risarcimento di lacune e la sutura delle lacerazioni.

9.1.2 Risarcimento delle lacune e sutura delle lacerazioni

Nel caso delle fotografie su carta è possibile ricostruire eventuali parti mancanti attraverso l'uso di carta testata (Photographic Activity Test - PAT, ISO/DIS 18916:2007) per la conservazione o di carta giapponese ampiamente utilizzata in varie tonalità e grammature nel restauro.

Anche la scelta dell'adesivo non è da sottovalutare: le colle generalmente utilizzate (De Bella *et al.*, 2005), sono la metilidrossietilcellulosa (Tylose MH 300 P2) e l'idrossipropilcellulosa (Klucel G), solubili la prima in acqua e la seconda in alcool, gli amidi modificati e più raramente gli adesivi polivinilici a pH neutro, utilizzabili a diverse concentrazioni secondo il grado di penetrazione che si vuole ottenere. La scelta ricadrà sull'uno o sull'altro collante a seconda del potere adesivo che occorre e delle proprietà del supporto originale e della carta da restauro (Figg. 9.3, 9.3a e 9.4, 9.4a).

Per la sutura delle lacerazioni si cercherà di operare sempre e solo dal *verso* della fotografia tramite l'apposizione di un velo di carta giapponese, anch'esso selezionabile tra un'ampia varietà di tipi, distinti per grammatura, dai più resistenti ai più impalpabili, tonalità e trama. L'utilizzo del velo consentirà di ottenere una superficie omogenea senza percettibili aumenti di spessore.



Figg. 9.3, 9.3a - Stampa alla gelatina ai sali d'argento danneggiata da blattoidei, recto e verso, prima del restauro



Figg. 9.4, 9.4a - Stampa alla gelatina ai sali d'argento, recto e verso, dopo il risarcimento delle lacune

Obiettivo primario nella ricostruzione delle parti mancanti e nel rinforzo degli strappi, nel caso di una fotografia su carta o del suo supporto secondario, è quello di ridare regolarità ai margini riducendo i rischi di strappi e ulteriori perdite di materiale soprattutto in fase di movimentazione e manipolazione. Colmare le lacune significa, pertanto, prevenire la possibile degenerazione del danno provocato dall'attacco di insetti e roditori, a causa dell'usura o per azione dell'uomo.

9.2 Recupero dello strato immagine

Nel restauro fotografico non esiste operazione più delicata del recupero dell'emulsione fotografica. È in questa fase che incide maggiormente la correttezza nell'analisi dell'oggetto e soprattutto nell'identificazione della tecnica fotografica, nonché la precisione dell'intervento; è qui che un errore di valutazione potrebbe risultare fatale.

9.2.1 Pulitura a secco e a umido

Come si è soliti operare una distinzione tra i materiali dei supporti, così anche per lo strato immagine occorrerà differenziare e indirizzare il trattamento di restauro a seconda della tipologia. Spolveratura, sgommatura e pulitura saranno eseguite nella logica del minimo intervento e ci si asterrà dall'effettuarle quando non strettamente necessario.

Data l'ampia varietà di composizioni dello strato immagine, sarebbe impossibile fornire in questa sede una descrizione puntuale ed esaustiva dei procedimenti di restauro, perciò si affronteranno le problematiche in modo generale, cercando di inquadrare i criteri principali con i quali procedere.

In linea di massima, nel caso dei processi fotografici unici, più antichi e fragili, si tende a non operare spolverature e/o puliture ad umido poiché risulterebbero troppo invasive per l'oggetto. Tale tipo di fotografie, solitamente montate in cornici e astucci, possono presentare danni dovuti all'infiltrazione di aria o agenti infestanti (tra cui gli insetti) all'interno del montaggio: solo nel caso di evidenti segni di degrado si potrà valutare l'ipotesi di aprire la cornice, rimuovere il vetro di protezione ed estrarre la fotografia. In questa eventualità si consiglia quindi un'attenta pulitura a secco attraverso la rimozione di polvere e depositi superficiali con pompette ad aria e microaspirazione e mediante l'asportazione sotto lente di ingrandimento di concrezioni e depositi superficiali, avendo cura di non abradere o incidere l'emulsione. Oltre a ridare luminosità e leggibilità all'immagine, eliminare tali depositi che si formano su un'emulsione fotografica aiuta a prevenire ulteriori danni dovuti ad inquinanti chimici eventualmente presenti che nel tempo possono reagire a contatto con i materiali fotografici, o di particolato atmosferico che per sfregamento potrebbe causare graffi sugli originali. Una volta pulita, la fotografia sarà sigillata e ricollocata sotto vetro nel proprio contenitore originale o riposta, qualora ne fosse sprovvista, in un nuovo montaggio appositamente studiato.

Anche per i negativi il criterio del minimo intervento impone di limitare la pulitura ad umido al solo strato del supporto, applicando il solvente idoneo unicamente sul *verso* della fotografia (figg. 9.5-9.11). In particolare, per la scelta del solvente da utilizzare, è importante ricordare che il collodio e la gelatina di cui sono generalmente costituiti gli strati immagine dei negativi su lastra di vetro, sono solubili il primo in alcool e la seconda in acqua. Anche operando dal *verso* del supporto sarà necessario prestare grande attenzione per evitare che l'emulsione possa entrare a contatto con il rispettivo solvente nocivo. Dunque, nel trattare un negativo il restauratore limiterà il proprio intervento sullo strato immagine per lo più alla spolveratura ad aria compressa, alla rimozione a secco di eventuali depositi superficiali e, se necessario, al consolidamento delle parti sollevate dell'emulsione (ad esempio nel caso del sollevamento del collodio nei negativi su lastra di vetro).



Fig. 9.5 - Deiezioni di blattoidei su pellicola fotografica a colori, in luce radente



Fig. 9.6 - Deiezioni di blattoidei su pellicola fotografica a colori, in luce trasmessa



Fig. 9.7 - La pellicola prima della pulitura



Fig. 9.8 - La pellicola dopo la pulitura

Solo nei casi in cui depositi superficiali e deiezioni di insetti presenti sull'emulsione interferiscano con la lettura del negativo fotografico si procederà alla pulitura ad umido anche dello strato immagine con il solvente idoneo, tenendo bene a mente i rischi ai quali si può andare incontro operando in modo errato: infatti, una pulitura eseguita con un solvente inadatto può produrre danni molto gravi e irreparabili, dal viraggio dell'immagine al completo scioglimento dell'emulsione.

Come accennato nel paragrafo precedente, i positivi su carta si prestano invece ad interventi di più ampio margine: anzitutto lo strato immagine, aderendo maggiormente al supporto cartaceo, poroso e permeabile rispetto ai metalli, al vetro o alla pellicola, può essere pulito più efficacemente e con minor rischio a secco grazie anche all'uso di pennelli a setole morbide e gomme adatte. Inoltre, secondo il tipo di procedimento fotografico spesso potrà essere eseguita una pulitura ad umido con le stesse soluzioni di acqua e alcool etilico indicate per i supporti. Ancora una volta l'applicazione per tamponamento tramite movimenti circolari e concentrici si dimostra il modo migliore per non creare alonature.

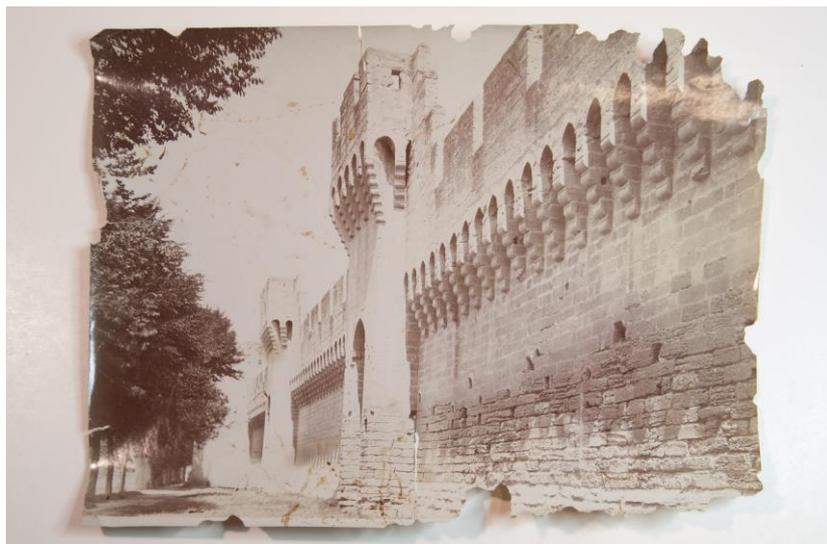


Fig. 9.9 - Macchie dovute a deiezioni di blattoidei e depositi superficiali su una stampa all'albumina



Fig. 9.10 - Dettagli della stampa all'albumina prima della pulitura



Fig. 9.11 - Dettagli della stampa all'albumina dopo la pulitura

9.2.2 Consolidamento e ritocco

I supporti cartacei che mostrassero lacune e perdite di materiale a seguito dell'azione dannosa degli infestanti, come abbiamo visto, possono essere risarciti con carta e possono riacquistare la propria consistenza. Tuttavia, mentre la superficie può essere ricostruita, nulla si può fare per recuperare parti mancanti dell'immagine se non un ritocco della carta utilizzata per colmare le lacune.

Il ritocco in ambito di restauro fotografico è di norma eseguito con acquarelli, i più idonei per stabilità e durabilità nel tempo, e può essere fissato attraverso l'applicazione di uno strato di finitura, o *coating* (realizzato mediante stesura di addensanti a bassa viscosità derivati della cellulosa, utilizzati anche come adesivi - principalmente idrossipropilcellulosa e carbossimetilcellulosa), che permette anche di simulare gli effetti di lucidità e lucentezza di alcune tipologie di emulsioni come l'albumina, la gelatina o il collodio.

Effettuare un ritocco, però, non dovrebbe essere considerata una procedura scontata e obbligata: anzi, si è riaperto il dibattito riguardo alla necessità di ricorrervi e all'idoneità dei metodi comunemente impiegati. In realtà, esso non dovrebbe essere generalizzato poiché non contribuisce a ridare stabilità all'immagine, ma mira esclusivamente al recupero estetico. Come spiega Silvia Berselli: "Il ritocco è, nel caso del restauro della fotografia, il trattamento che in un progetto di priorità di intervento occupa l'ultimo posto. Rispetto ad altre operazioni indispensabili per la stabilità a lungo termine delle opere, esso ha tendenzialmente una funzione estetica di riequilibrio delle parti mancanti dell'immagine" (Berselli & Gasparini, 2000).

9.2.3 Il restauro virtuale

Ovviare al problema della ricostruzione delle parti mancanti di una fotografia però è possibile almeno "virtualmente" attraverso metodologie integrate che prevedono l'utilizzo di scanner per l'acquisizione di immagini e software per la loro elaborazione grafica (ad esempio Adobe Photoshop), metodologie che si è ormai soliti riassumere sotto la definizione di restauro virtuale, anche detto elettronico, o digitale (Moschini, 2001).

Il restauro digitale, introdotto e applicato in campo artistico solo negli ultimi decenni grazie al progresso tecnologico, presenta il grande vantaggio di poter ottimizzare la leggibilità dell'opera senza trattarne o modificarne la materia. Operando in modo totalmente reversibile a prescindere dalla tecnica esecutiva, dal materiale costitutivo e dalle condizioni di conservazione dell'oggetto, permette cioè di eseguire anche ciò che sarebbe impraticabile se si dovesse intervenire direttamente sul bene fotografico originale. Una volta acquisita in formato digitale, l'immagine è sottoposta alla rielaborazione e alle opportune modifiche attraverso il software più indicato, quindi può essere archiviata su un supporto digitale o in hard disk e all'occorrenza può essere stampata su carta, costituendo dichiaratamente copia modificata dell'originale.

Sebbene non rispecchi i canoni e le convenzioni della disciplina tradizionale, tuttavia anche questo tipo di intervento non può avvenire in assoluta libertà, ignorando qualsiasi regola e principio teorico. Come il restauro manuale, così quello virtuale deve rispettare il criterio della riconoscibilità per non creare un falso storico, quello della reversibilità per poter risalire allo stato dell'opera prima dell'intervento, i criteri della compatibilità e del minimo intervento per mantenere la fedeltà con l'originale e non stravolgerne le caratteristiche (figg. 9.12 e 9.13).



Fig. 9.12 - Stampa alla gelatina ai sali d'argento con segni evidenti di erosioni da insetti



Fig. 9.13 - Il restauro digitale in corso d'opera e gli effetti sull'estetica dell'immagine

Una fotografia ben si presta all'utilizzo di tali tecnologie anche in virtù del fatto che spesso è riprodotta in più copie, perciò non sono rari i casi in cui si possa operare una reintegrazione delle lacune di un'immagine attraverso il confronto con copie identiche integre o in migliore stato di conservazione.

Infine, il restauro digitale può dimostrarsi un valido strumento di supporto al restauro manuale: un altro buon uso può essere, infatti, quello di mostrare un'anteprima del risultato di un trattamento di ritocco da effettuare sull'opera reale, verificandone l'efficacia prima dell'esecuzione effettiva e/o proponendo varie ipotesi di realizzazione dell'intervento e scartando soluzioni non idonee.

L'intenzione di questo contributo, lontano dal voler essere esaustivo, è stata quella di individuare ed evidenziare le problematiche che possono manifestarsi a seguito dell'azione di infestanti e delle soluzioni adottabili nel restauro della fotografia, un campo ancora molto giovane e ricco di ostacoli ed imprevisti.

Sebbene molta strada si possa ancora fare grazie alla sperimentazione e al supporto della scienza e della ricerca, l'irreversibilità di alcune tipologie di danno, come quello che possono produrre alcune specie di insetti e di roditori su questi materiali tanto deperibili e sensibili, comporta un grande limite nel loro restauro, legato anche all'estrema delicatezza e discrezione con cui è necessario approcciarvisi.

Dovendo constatare il bisogno di ricorrere al restauro, sarà bene valutare e includere nel progetto un adeguato piano di conservazione preventiva, che garantisca ai beni fotografici di essere riposti nei locali adibiti a deposito nel modo più corretto possibile dopo il loro restauro. Dunque sarà doveroso accertarsi delle effettive condizioni ambientali dei locali di conservazione e dei relativi parametri di temperatura e umidità relativa, i cui valori devono rientrare negli standard stabiliti a livello nazionale e internazionale [UNI 10586:1997; ISO 11799:2003-09(E)] (vedi capitolo 3).

Secondo la tipologia, la dimensione, la tecnica e il valore, il materiale restaurato andrà collocato all'interno di arredi e contenitori idonei e testati progettati *ad hoc* (Berselli & Gasparini, 2000). Assicurare una conservazione adeguata significa vigilare sul futuro dell'opera da conservare, difenderla dagli agenti esterni di degrado e non rendere vani i benefici di un intervento di restauro ben eseguito e i relativi costi sostenuti.

In conclusione, la condizione ideale per ovviare al danno ed evitare l'accelerazione del naturale degrado dei beni fotografici dovuto al trascorrere del tempo, sarebbe quella di riuscire ad impedire agli agenti infestanti di operare all'interno dei locali di conservazione tramite una scrupolosa e attenta manutenzione, una costante e periodica pulizia e attraverso una corretta gestione che preveda il controllo e il monitoraggio dei parametri ambientali nei magazzini o nelle sale di consultazione e/o esposizione.

In ogni caso, qualora si renda indispensabile il ricorso al restauro, a meno che non si sia in possesso delle necessarie conoscenze, abilità e competenze per procedere al trattamento, sarà bene agire tempestivamente affidandosi alle cure di un esperto (Lavédrine, 2003; Icon, 2006).

Bibliografia generale

- Adamo M., Magaudda G., 2003 – Susceptibility of printed paper to attack of chewing insects after gamma radiation and aging. - *Restaurator*, 24: 95-105.
- Adamo M., Magaudda G., Tata A., 2004 – Radiation technology for cultural heritage restoration. - *Restaurator*, 25: 159-170.
- Adamo M., Cesareo U., Matè D., 2012 – Conservare il patrimonio fotografico. Studio sulla vulnerabilità di carte fotografiche all'attacco di insetti blattodei. - Atti del X Congresso Nazionale IGIIC, Lo Stato dell'Arte 10, 22-24 novembre 2012, Roma, Nardini Editore, Firenze: 285-292.
- Adamo M., De Francesco M., Matè D., 2013a – Stampe all'albumina, al collodio e alla gelatina: effetti dell'irraggiamento gamma sulla stabilità cromatica. - *I Beni Culturali* (in corso di pubblicazione).
- Adamo M., De Francesco M., Matè D., 2013b – Irraggiamento gamma su stampe colorate all'anilina. Valutazione della solidità del colore. - *Kermes*, XXVI (91): 65-74.
- Adamo M., Giovannotti M., Magaudda G., Plossi Zappalà M., Rocchetti F., Rossi G., 1998 – Effect of gamma rays on pure cellulose paper as a model for the study of a treatment of "biological recovery" of biodeteriorated books. - *Restaurator*, 19: 41-59.
- Adamo M., Brizzi M., Magaudda G., Martinelli G., Plossi-Zappalà M., Rocchetti F., Savagnone F., 2001 – Gamma radiation of paper in different environmental conditions: chemical, physical and microbiological analysis. - *Restaurator*, 22: 107-131.
- Adamo M., Magaudda G., Trionfetti Nisini P., Tronelli G., 2003 – Susceptibility of cellulose to attack of cellulolytic microfungi after γ -rays irradiation and ageing. - *Restaurator*, 24: 145-151.
- Adamo A., Cesareo U., Matè D., Ruschioni E., 2009a – La conservazione del patrimonio fotografico. Valutazione del danno provocato da *Blaptica dubia*. - *Kermes*, XXII (73): 51-66.
- Adamo M., De Francesco M., Matè D., Ruschioni E., Sclocchi M.C., 2009b – Valutazione degli effetti dell'irraggiamento γ sulla stabilità cromatica di stampe fotografiche. - Atti del VII Congresso Nazionale IGIIC, Lo Stato dell'Arte 7, 8-10 ottobre 2009, Napoli, Nardini Editore, Firenze: 365-372.
- Adamo M., Sclocchi M. C., Matè D., Ruschioni E., 2011a – Effetto dell'attacco di biodeteriogeni su carte fotografiche trattate con raggi γ (Test preliminari). - Atti del VI Convegno Nazionale di Archeometria, Scienza e Beni Culturali, 15-18 febbraio 2010, Pavia, Picardi M., Basso E. (eds), Patron Editore, Bologna: 1-8.
- Adamo M., Matè D., Ruschioni E., Zarbo F., 2011b – Danni causati da Blattoidei su cartoline degli anni '60. - *I Beni Culturali*, XIX (1): 2-6.
- Adcock E.P., 1999 – 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: 1-72. Da: <http://webdoc.gwdg.de/ebook/aw/1999/ifla/pchlm.pdf> (consultato il 15/10/2014).
- Adcock E. P., Varlamoff M.T., Kremp V., 2005 – Principi dell'IFLA per la cura e il trattamento dei materiali di biblioteca. Edizione italiana a cura della Commissione nazionale biblioteche e servizi nazionali, AIB, Roma: 1-227.

- Adelstein P.Z., 2002 – Optimizing nitrate film storage. - Preserve then show, Danish Film Institute: 52-66. Da: <http://conservationresearch.blogspot.com/2008/11/preserve-then-show-2002.html> (consultato il 22/09/2014).
- Adelstein P.Z., Bigourdan J.L., Reilly J.M., 1997 – Moisture relationships of photographic Film. - Journal of the American Institute for Conservation, 36: 193-206.
- Adelstein P.Z., Reilly J.M., Nishimura D.W., Erbland C.J., 1992 – Stability of cellulose ester base photographic film: Part I. - Laboratory Testing Procedures, SMPTE Journal, 101 (5): 336-346.
- Allitta M., Cattaneo B., Davies E., 2013 – I negativi, le diapositive, le trasparenze a colori. In: Cattaneo B. (ed), Il restauro della fotografia. Materiali fotografici e cinematografici, analogici e digitali. - Nardini Editore, Firenze: 111-129.
- Anzidei P., Caruso R., Cipolloni F., Marracino F., Venanzetti F., Ziragachi G., 2010 – Climatizzazione di ambienti indoor e rischio biologico. - Biologi Italiani, XXXX, 1: 30-36.
- Area M.C., Calvo A.M., Felissia F.E., Docters A., Miranda M.V., 2014 – Influence of dose and dose rate on the physical properties of commercial papers commonly used in libraries and archives. - Radiation Physics and Chemistry, 96: 217-222.
- Arruzzolo G., Marinucci G., Ruschioni E., Veca E., Cesareo U., Botti L., Impagliazzo G., Mantovani O., Residori L., Ruggiero D., Orioni B., 2005a – Action of Microwaves on noxious insects to paper supports. - Proc. of the 10th International Conference on Microwave and High Frequency Heating, 12-15 Settembre 2005, Modena: 350-354.
- Arruzzolo G., Marinucci G., Ruschioni E., Veca E., Cesareo U., Botti L., Impagliazzo G., Mantovani O., Residori L., Ruggiero D., Orioni B., 2005b – Progetto M.I.S.Y.A. (parte I): azione delle microonde su insetti dannosi per i supporti di carta. In: Tecnologie avanzate per la conservazione del Patrimonio, IX Salone dei Beni e delle Attività culturali, 2-4 dicembre 2005, Restaura, Venezia. - Cangemi Editore, Roma: 13-15.
- Artecontrol, 2014 – Tutela e Conservazione di Beni Culturali e Civili - Lotta antitarlo Disinfestazione Aerotermica GHIBLI® ad insufflazione di aria calda per travi e capriate attaccate dai tarli. - Artecontrol. Da: <http://www.artecontrol.it/aerotermica.php> (consultato il 07/05/2014).
- Ashley-Smith J., 1995 – Definitions of damage. Text of a talk given in the session “When conservator and collections meet” at the Annual Meeting of the Association of Art Historians, London, 7-8 April 1995. Not published. Da: <http://cool.conservation-us.org/byauth/ashley-smith/damage.html> (consultato il 20/10/2014).
- Baccaro S., Carewska M., Casieri C., Cemmi A., Lepore A., 2013 – Structure modifications and interaction with moisture in γ -irradiated pure cellulose by thermal analysis and infrared spectroscopy. - Polymer Degradation and Stability, 98: 2005-2010.
- Bagnères A.G., Uva P., Clément J.L., 2003 – Description d’une nouvelle espèce de termite: *Reticulitermes urbis* n. sp. (Isopt., Rhinotermitidae). - Bulletin de la Société entomologique de France, 108 (4): 433-435.
- Baldaccini N.E., Giunchi D., 2011 – Le popolazioni urbane di colombo: considerazioni sulla loro genesi, sullo status tassonomico, giuridico e sulle caratteristiche biologiche importanti a fini gestionali, 1-35. Da: <http://cerere.vet.unipi.it/content/cerere/iniziativecerere/2011/seminario-le-popolazioni-di-piccioni-nel-contesto-urbano-predis> (consultato il 27/10/2014).
- Ballarini G., 1984 – Linee d’intervento sulle popolazioni di colombi in città. Giornata di studio “Piccioni in città”. - Siena, Comune di Siena, 69-88.

- Ballarini G., Baldaccini N.E., Pezza F., 1989 – Colombi in città. Aspetti biologici, sanitari e giuridici. Metodologie di controllo. - Istituto Nazionale di biologia della Selvaggina, Documenti Tecnici, 6: 1-58.
- Barcellona Vero L., Marabelli M., Zappalà Plossi M., 1978-79 – Studio per la disinfezione con ossido di etilene di pergamene miniate. - Bollettino dell'Istituto centrale per la patologia del libro "Alfonso Gallo", 35: 3-20.
- Belmain S.R., Simmonds M.S.J., Blaney W.M., 2000 – Behavioral responses of adult Deathwatch Beetles, *Xestobium rufovillosum* de Geer (Coleoptera: Anobiidae), to Light and Dark. - Journal Insect Behavior, 13 (1): 15-26.
- Ben-Arie R., Barkai-Golan R., 1969 – Combined heat-radiation treatment to control storage rots of Spadona pears. - The International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 20: 687-690.
- Berselli S., Gasparini L., 2000 – L'archivio fotografico. Manuale per la conservazione e gestione della fotografia antica e moderna. - Zanichelli, Bologna: 1-222.
- Berti S., Pinzari F., Tiano P., 2005 – Metodi fisici. In: Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O. (eds), La Biologia vegetale per i Beni Culturali, vol. 1. - Nardini Editore, Firenze: 313-317.
- Bertini M.B., 2002 – Prevenire è meglio che curare: la conservazione preventiva, ovvero come ottenere i migliori risultati possibili con risorse limitate. - Archivio di Stato di Milano, Milano: 1-413.
- Bertini M.B., 2005 – La conservazione dei beni archivistici e librari. Prevenzione e piani di emergenza. - Carocci, Roma: 1-211.
- Borick P.M., 1968 – Chemical sterilizers. Advances. - Applied Microbiology, 10: 291-297.
- Bortoletti G., 1973 – Pulci. In: Enciclopedia Medica Italiana, seconda edizione, vol. 12. - USES, Utet-Sansoni Edizioni Scientifiche, Firenze: 2049-2054.
- Brandi C., 1977 – Teoria del Restauro. - Einaudi, Torino: 1-16.
- Bratu E., Moise J.V., Cutrubinis M., Negut D.C., Virgolici M., 2009 – Archives decontamination by gamma irradiation. - Nucleonika, 54 (2): 77-84.
- Bravery A.F., Berry R.W., Carey J.K., Cooper D.E., 1987 – Recognising wood rot and insect damage in buildings. Building Research Establishment Report. - Building Research Establishment, Garston, Watford: 1-120.
- Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O., 2005 – Metodi Chimici. In: Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O. (eds), La Biologia vegetale per i Beni Culturali, vol. 1. - Nardini Editore, Firenze: 318-322.
- Caneva G., Nugari M.P., Pinna D., Salvadori O., 1996 – Il controllo del degrado biologico. I biocidi nel restauro dei materiali lapidei (Collana Arte e Restauro). - Nardini Editore, Firenze: 1-200.
- Capizzi D., Santini L., 2007 – I Roditori italiani. Ecologia, impatto sulle attività umane e sugli ecosistemi, gestione delle popolazioni. - Antonio Delfino Editore, Roma: 1-555.
- Capizzi E., Zanelli B., 2008 – Atmosfere modificate per la disinfestazione di manufatti lignei e cartacei. - Igiene Alimenti. Disinfestazione & Igiene Ambientale, Luglio/Agosto: 31-36.
- Carleton M.D., Musser G.G., 2005 – Order *Rodentia*. In: Wilson D.E., Reeder D.M. (eds), Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference. - Johns Hopkins University Press, Baltimora, Maryland: 745-753.
- Cartier-Bresson A., 2008 – Le vocabulaire technique de la photographie - Éditions Marval, Paris: 1-495.

- Castagnoli M., 1987 – Gli acari di interesse nell’igiene pubblica. Istituto Sperimentale per la Zoologia Agraria, Nota Tecnica n. 2. - Arti Grafiche Giorgi & Gambi Editore, Firenze: 1-22. Da: <http://www.isza.it/Lavoripubblicati/notatecnica/nota%20tecnica2.pdf> (consultato il 20/10/2014).
- Cattaneo B., 2013 – Il restauro della fotografia. Materiali fotografici e cinematografici, analogici e digitali. - Nardini Editore, Firenze: 1-237.
- CCAHA, 2014 – Freezing and drying of book, Paper and photographic materials. - Conservation Centre for Art and Historic Artifacts. Da: http://www.ccaha.org/uploads/media_items/ccaaha-freezing-drying-techniques.original.pdf (consultato il 07/11/2014).
- CDE, 2010 – Impianto di disinfestazione Thermo Lignum. - Centro di dialettologia e etnografia. Da: http://www4.ti.ch/fileadmin/DECS/DCSU/AC/CDE/pdf/servizi/restauro/CDE_thermolignum%20procedimento_101228.pdf (consultato il 07/10/2014).
- CEFMECTP, 2008 – Prevenzione e gestione del rischio nelle attività di restauro. - Roma: 1-263.
- Cesareo U., Marinucci G., Veca E., Ruschioni E., 2006 – Il monitoraggio entomologico negli ambienti di conservazione dei beni archivistici: un’esperienza nell’Archivio di Stato di Roma. - Bollettino ICR, Nuova serie, 13: 5-18.
- Chiappini E., Molinari P., Cravedi P., 2009 – Controlled atmospheres: different possibility of application and method of action. - *Tecnica Molitoria*, 60 (7): 762-768.
- Chiappini E., Liotta G., Reguzzi M.C., Battisti A., 2001 – Insetti e restauro. Legno, carta, tessuti, pellame e altri materiali. - Calderini Edagricole, Roma: 1-296.
- Chierchia G., 19? – I processi fotomeccanici alla portata di tutti. - A. Dell’Acqua & C., Il Corriere Fotografico, Milano: 1-48.
- Child R.E., 1999 – Insect pests in archives: detection, monitoring and control. - *Journal of the Society of Archivists*, 20 (2): 141-148.
- C.I.A.R.T., 2014 – Il Restauro dei manufatti artistici lignei e trattamento di disinfestazione a microonde. I protocolli C.I.A.R.T. Da: http://www.webalice.it/inforestauro/ciart_protocolli.htm-(consultato il 07/06/2014).
- Corazza M., Tassinari M., Pezzi M., Ricci M., Borghi A., Minghetti S., Leis M., 2014 – Multidisciplinary approach to *Pyemotes ventricosus* Papular Urticaria Dermatitis. - *Acta Dermato-Venereologica*, 94: 248–249.
- Corrigan R.M., 2001 – Rodent control: a practical guide for pest management professionals. - GIE Media Cleveland, Ohio: 1-355.
- Craig R., 1986 – Alternative approaches to the treatment of mould biodeterioration - an international problem. - *The Paper Conservator*, 10: 27-30.
- Crawford W., 1981 – L’età del collodio: gli ingredienti e le ricette nella camera oscura dell’800. - C. Ciapanna, Roma: 1-326.
- Cutrubinis M., Tran K., Bratu E., Caillat L., Negut D., Niculescu G., 2010 – Disinfection and consolidation by irradiation of wooden samples from three Romanian churches. - *Proc. International Conference on Wood Science for Conservation of Cultural Heritage*, 5-7 November 2008, Braga, Gril J. (ed), University Press, Firenze: 5-7.
- Dalton S., 2014 – 6.1. Microfilm and Microfiche, Northeast Document Conservation Center, Da <http://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/6.-reformatting/6.1-microfilm-and-microfiche> (consultato il 20/05/2014).
- Dawson J., 1988 – The effects of insecticides on Museum artifacts and materials. In: Zycherman L.A., Schrock J.R. (eds), *A guide to museum pest control*. - Foundation of the

- American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and Association of Systematics Collections, Washington, D.C.: 135-150.
- De Bella L.R., Guasti G., Massimi M., Medagliani S.A., Nutini A., Prospero C., Sidoti A., Storace M.S., 2005 – Capitolato Speciale Tecnico tipo, Ministero per i beni e le attività culturali, Roma. Da: http://www.icpal.beniculturali.it/allegati/Capitolato_Speciale_Tecnico_Tipo.pdf (consultato il 25/09/2014).
- De Carneri I., 1997 – Parassitologia generale e umana. Genchi C., Pozio E. (eds). - Casa Editrice Ambrosiana, Milano: 1-576.
- Del Giudice P., Blanc-Amrane V., Bahadoran P., Caumes E., Marty P., Lazar M., Boissy C., Desruelles F., Izri A., Ortonne J.P., Counillon E., Chosidow O., Delaunay P., 2008 – *Pyemotes ventricosus* dermatitis, southeastern France. - *Emerging Infectious Diseases*, 14 (11): 1759-1761.
- De Guichen G., 2003 – Introduzione alla conservazione preventiva. In: La conservazione preventiva delle raccolte museali. Servizi e professionalità nuove per la Tutela, Atti del Convegno Internazionale Ferrara 1999, Menegazzi C., Silvestri I. (eds), Kermes quaderni. - Nardini Editore, Firenze: 13-18.
- Dinetti M., 1997 – Come convivere con i piccioni di città. *Ecologia Urbana* 9 (1). - Maria Pacini Fazzi Editore, Lucca, 1-12.
- Dinetti M., 1998 – Documenti scientifici per la conservazione. Specie problematiche - 2 - Il colombo di città. - Delegazione LIPU Genova, 1-11.
- Dinetti M., Gallo-Orsi U., 1998 – Colombi e storni in città: manuale pratico di gestione. - Il Verde Editoriale, Milano: 1-164.
- Domenichini G., Crovetto A., 1989 – Entomologia urbana e sanità ambientale. - Unione Tipografico-Editrice Torinese UTET, Torino: 1-253.
- D.Lgs n. 81/2008 – Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela e della sicurezza nei luoghi di lavoro, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008. - Supplemento Ordinario n. 108.
- Eastman Kodak Company, 2005 – Storage and care of KODAK photographic materials before and after processing. - Kodak publication No. E-30, Rochester, N.Y.: 1-12.
- Eaton G.T., 1985 – Conservation of photographs. - Eastman Kodak Publication F-40, Rochester, N.Y.:1-156.
- ECA, 1989 – Indoor Air Quality & Its Impact On Man. Report n. 4, Sick Building Syndrome. A Practical Guide - Commission of the European Communities, Directorate General for Science, Research and Development - Joint Research Centre - Institute for the Environment, EUR 12294 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg: 4-37.
- Europa-eu, 2011 – Classificazione, etichettatura ed imballaggio delle sostanze chimiche e delle miscele. - Sintesi della legislazione dell'UE. Da: http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/chemical_products/ev0013_it.htm (consultato il 07/11/2014).
- Europa-eu, 2014 – Sintesi della legislazione dell'UE. - Sintesi della legislazione dell'UE: tutto quello che c'è da sapere sulla legislazione dell'UE! Da: http://europa.eu/legislation_summaries/index_it.htm (consultato il 07/11/2014).
- Feo Brito F., Mur P., Barber D., Lombardero M., Galindo P.A., Gómez E., Boria J., 2002 – Occupational rhinoconjunctivitis and asthma in a wool worker caused by *Dermestidae* spp. - *Allergy*, 57: 1191-1194.

- Ferrari R., Ghesini S., Marini M., 2011 – *Reticulitermes urbis* in Bagnacavallo (Ravenna, Northern Italy): a 15-year experience in termite control. - Journal of Entomological and Acarological Research, 43 (2): 287-290.
- Fiorente F., 2011 – In caso di... parassiti dei tarli. - Igiene Alimenti. Disinfestazione & Igiene Ambientale, Marzo/Aprile: 45-46.
- Flieder F., 1965 – Action des différent produits fongicides et insecticides, utilisés en conservation sur la résistance physico-chimique des papiers. - Proc. of the 5th Joint Meeting of the ICOM Committee for Museum Laboratories and of the ICOM Committee for the Care of Paintings. ICOM, 17-25 September 1965, New York, USA: 1-46.
- Flieder F., 2002 – La désinfection des biens culturels à l'oxyde d'éthylène. Efficacité et limites d'utilisation. In: Les contaminants biologiques des biens culturels. - Elsevier, Paris: 271-273.
- Flieder F., Lavédrine B., 1987 – Gli agenti di deterioramento delle immagini fotografiche e la protezione contro i loro danni. In: Masetti-Bitelli L., Vlahov R. (eds), La Fotografia. 1. Tecniche di conservazione e problemi di restauro. - Ed. Analisi, Bologna: 49-67.
- Flieder F., Capderou C., 1999 – Sauvegarde des collections du Patrimoine: la lutte contre les détériorations biologiques. - CNRS Éditions, Paris: 1-256.
- Florian M.-L.E, 1988 – Ethylene oxide fumigation: a literature review of the problems and interactions with materials and substances in artifacts. In: Zycherman L.A., Schrock J.R. (eds), A guide to museum pest control. - Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and Association of Systematics Collections, Whashington DC: 151-157.
- Florian M.-L.E, 1993 – Conidial fungi (mould) activity on artifact materials - A new look at prevention, control and eradication. - Proc. of the 10th Triennial Meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993, James & James (Science Publishers) Ltd., London: 868–874.
- Florian M.-L.E., 1997 – Heritage Eaters: Insects and Fungi in Heritage Collections. - James & James (Science. Publishers), London: 1-164.
- Florian M.-L.E., 2002 – Fungal Facts. Solving Fungal Problems in Heritage Collections. - Archetype Publications, Great Britain: 1-152.
- Fukutomi Y., Kawakami Y., Taniguchi M., Saito A., Fukuda A., Yasueda H., Nakazawa T., Hasegawa M., Nakamura H., Akiyama K., 2012 – Allergenicity and cross-reactivity of Booklice (*Liposcelis bostrichophila*): A common household insect pest in Japan. - International Archives of Allergy and Immunology, 157: 339-348.
- Gallo F., 1963 – Aspetti della lotta preventiva e curativa contro i microrganismi dannosi al materiale bibliografico e archivistico. - Bollettino dell'Istituto centrale per la patologia del libro "Alfonso Gallo", 22: 29-66.
- Gallo F., 1984-1985 – Disinfezione e disinfestazione: problematiche ed esperienze. - Bollettino dell'Istituto centrale per la patologia del libro "Alfonso Gallo", 39: 75-96.
- Gallo F., 1985 – Biological factors in deterioration of paper. - ICCROM, Roma, XI: 1-151.
- García A.P., 2009 – Las cianotipias y diazotipias como métodos de duplicación de planos: su conservación. - Patrimonio cultural de España, 2: 334- 347. Da: http://www.mcu.es/patrimonio/docs/MC/IPHE/PatrimonioCulturalE/N2/19_PCE2_Cianotipias_Planos.pdf (consultato il 22/09/2014).
- Geiger C.A., Cox C., 2012 – Pest prevention by design. Authoritative guidelines for designing pests out of structures, 11/28/12 Version. - SF Environment, ICC, International Code Council: 1-88. Da: http://www.sfenvironment.org/sites/default/files/fliers/files/final_ppbd_guidelines_12-5-12.pdf (consultato il 05/10/2014).

- Ghedina O., 1976 – Fotoricettario: tecnica fotografica di laboratorio. - Hoepli Editore, Milano: 1-633.
- Ghesini S., Marini M., 2012 – New data on *Reticulitermes Urbis* and *Reticulitermes lucifugus* in Italy: are they both native species?. - Bulletin of Insectology, 65 (2): 301-310.
- Ghesini S., Pilon N., Marini M., 2011 – A new finding of *Reticulitermes flavipes* in northern Italy. - Bulletin of Insectology, 64 (1): 83-85.
- Ghesini S., Messenger M.T., Pilon N., Marini M., 2010 – First report of *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae) in Italy. - Florida Entomologist, 93: 327-328.
- Gialdi E. 2014 – Il contenimento del danno biologico nei musei, archivi e biblioteche. RGI bioStery Tech Srl. - Disinfestazione dei Beni Culturali. Da: <http://www.rgi-genova.com/it/disinfestazione/49/il-contenimento-del-danno-biologico.html> (consultato il 16/10/2014).
- Gillen K.T., Clough R.L., Dhooge N.J., 1986 – Density profiling of polymers. - Polymer, 27: 225-232.
- Gillet M., Garnier C., Leroy M., Flieder F., 2002 – Comportement des films cinématographiques désinfectés par deux methods. In: La conservation à l'ère du numérique, Actes de 4^{es} Journées internationales d'études de l'ARSAG, 27-30 mai 2002, Paris, ARSAG, Paris, 249-254.
- Glastrup J., 2001 – The Effectiveness of Compressed Air in Removal of Pesticides from Ethnographic Objects. - SPNHC, Collection Forum 16 (1-2): 1-100.
- Godish T., 2001 – Indoor environmental quality. - New York, CRC Press: 196-197.
- Grandi G., 1984 – Introduzione allo studio dell'entomologia, vol. II. - Edagricole, Bologna: 1-950.
- Gunn M., Ziaeeepour H., Merizzi F., Naffah C., 2007 – Anoxia-treatment by oxygen deprivation of museum objects. Optimizing treatment time of museum objects, 1-21. Da: <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0611/0611199.pdf> (consultato il 21/09/2014).
- Hannavy J., 2008a – Encyclopedia of nineteenth-century photography: A-I index, vol. 1. - John Hannavy, Routledge, Taylor & Francis Group, New York, 1-1763.
- Hannavy J., 2008b – Encyclopedia of nineteenth-century photography: J-Z index, vol. 2. - John Hannavy, Routledge, Taylor & Francis Group, New York, 1-823.
- Hanus J., 1985 – Gamma radiation for use in archives and libraries. - Abbey Newsletter, 9: 34.
- Hanus J., 1998 – Determination of residual ethylene oxide and its desorption from different types of sterilized papers. Final report. - Centre de Recherches sur la Conservation des Documents Graphiques, Paris: 1-100.
- Hanus J., Richardin P.M., Bonassies S., 1999 – Influence of ethylene oxide sterilization on some photographic papers. - Proc. of the 12th Triennial Meeting ICOM Committée for Conservation, 29 August-3 September 1999, Lyon, Janet Bridgland (ed) James & James (Science Publishers) Ltd, London, vol. II: 550-554.
- Hatchfield P.B., 2002 – Polluants in the Museum environment. - Archetype Publications, London: 1-203.
- Havermans J., De Bruin G., 2007 – New insights on disinfection of archival and library materials using gamma radiation (abstract). - The Book and Paper Group Annual, 26: 29.
- Hengemihle F. H., Weberg N., Shahani C., 1995 – Desorption of residual ethylene oxide from fumigated library materials. In: Preservation Research and Testing Series 9502.- Library of Congress. Washington, D.C: 1-13.

Hofenk de Graaf J.H., Roelofs W.G.Th., 1994 – Investigation of the long term effects of ethylene oxide and gamma irradiation on the ageing of paper. In: Verschoor H., Mosk J. (eds), Contributions of the Central Research Laboratory to the field of Conservation and Restoration. - Central Research Laboratory for Objects of Art and Science, Amsterdam: 53-64.

IAEA, 2009 – Technical Cooperation Project - RER 8015: Using Nuclear Techniques for the Characterization and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the European Region. - Nuclear Techniques for Preservation of Cultural Heritage Artefacts, Austria, Vienna: 1-44.

IAEA, 2011 – Nuclear Techniques for Cultural Heritage Research. - IAEA Radiation Technology Series No 2, Vienna, Austria: 1-205.

IAEA, 2014 – Radioisotope Production and Radiation Technology. - Contributing to better health care and a cleaner environment. Da: http://www-naweb.iaea.org/na/resources-na/factsheets/Nuclear%20Applications%20Overview/NA%20Fact%20Sheets/NA-Factsheets_RPRT.pdf (consultato il 07/09/2014).

IARC, 2008 – 1,3-butadiene, ethylene oxide and vinyl halides (vinyl fluoride, vinyl chloride and vinyl bromide). - Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 97: 185-309.

Icon, 2006 – Care and conservation of photographic materials. - The Institute of Conservation, Da: <http://www.conservationregister.com/carephotographs.asp?id=4> (consultato il 28/10/2014).

INAIL, 2010 – Il monitoraggio microbiologico negli ambienti di lavoro. - CONTARP, Roma: 1-90. Da: http://sicurezzasullavoro.inail.it/PortalePrevenzioneWeb/wcm/idc/groups/catalogoprodotti/documents/document/cp_164415.pdf (consultato il 15/09/2014).

IPI, 2014 – DP3 Digital print preservation portal Newsletter, Issue: 11 Image Permanence Institute. Da: <http://www.dp3project.org/resources/newsletter-archive/v11/revision-iso-18920> (consultato il 06/09/2014).

ISO 18919:1999 – Imaging materials - Thermally processed silver microfilm - Specifications for stability.

ISO 18918:2000 – Imaging materials - Processed photographic plates - Storage practices.

ISO 18905:2002 – Imaging materials - Ammonia-processed diazo photographic film - Specifications for stability.

ISO 18912:2002 – Imaging materials - Processed vesicular photographic film - Specifications for stability.

ISO 11799:2003-09(E) – Information and documentation - Document storage requirements for archive and library materials.

ISO 18909:2006 – Photography - Processed Photographic Colour Films and Paper Prints- Methods for Measuring Image Stability.

ISO/DIS 18916:2007 – Imaging materials - Processed imaging materials - Photographic activity test for enclosure materials.

ISO 18901:2010 – Imaging materials - Processed silver-gelatin-type black- and- white film - Specifications for stability.

ISO 18911:2010 – Imaging Materials - Processed Safety Photographic Films - Storage Practices.

ISO 18920:2011 – Imaging materials - Reflection prints - Storage practices.

- Istituto Superiore di Sanità, 2012 – Gli Inquinanti. Pesticidi organoclorurati. - Womenbiopop. Da: <http://www.iss.it/womenbiopop/index.php?lang=1&id=415&tipo=6> (consultato il 06/11/2014).
- Johnson J.A., 2010 – Effect of relative humidity and product moisture on response of diapausing and nondiapausing *Indianmeal Moth* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae to low pressure treatments. - *Journal of Economic Entomology*, 103 (3): 612-618.
- Jürgens M.C., 2009 – Digital print: the complete guide to processes, identification and preservation. - Thames & Hudson, London: 1-310.
- Justa P., Stifter M., 1992 – Gamma radiation as an alternative means for disinfection of archives. - Proc. of the 2nd International Conference Biodeterioration of Cultural Property, 5-8 October 1992, Yokohama, Giappone: 205-220.
- Kingsley H., Pinniger D., 2001 – Trapping used in a large store to target cleaning and treatment. In: Kingsley H., Pinniger D., Xavier-Rowe A., Winsor P. (eds), *Integrated Pest Management for Collections Proceedings 2001: A Pest Odyssey*. - James & James (Science Publishers), London: 51-56.
- Katusin-Razem B., Razem D., Braun M., 2009 – Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia. - *Radiation Physics and Chemistry*, 78: 729-731.
- Kowalik R., 1984 – Microbiodeterioration of library materials. - *Restaurator*, 6: 61-115.
- Lavédrine B., 2003 – A guide to the preventive conservation of photographic collections. - The Getty Conservation Institute, Los Angeles: 1-286.
- Lavédrine B., 2009 – Photographs of the past: process and preservation. - The Getty Conservation Institute, Los Angeles: 1-352.
- Lavédrine B., Gandolfo J.P., Monod S., Frizot M., 2008 – (re)Connaître et conserver les photographies anciennes. - CHTS, Paris: 1-345.
- Leliwa-Kania A., Rundniewski P., Panta P., Gluszewski W., 1997 – Research on radiolysis effects during paper disinfection with ionizing radiation. - Annual Report of Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Varsavia: 1-167.
- Lepesme P., 1944 – Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. - Paul Lechevalier Editeur, Paris: 1-335.
- Lepore A., Baccaro S., Casieri C., Cemmi A., De Luca F., 2012 – Role of ageing mechanism of paper. - *Chemical Physics Letters*, 531: 206-209.
- Levi Luxardo I., Nazzaro P., 1973 – Acariasi da grano. In: *Enciclopedia Medica Italiana*, seconda edizione, vol. 1. - USES, Utet-Sansoni, Edizioni Scientifiche, Firenze: 121-125.
- Lindblom Patkus B., 2014 – Emergency Management - 3.10 Integrated Pest management. NDCC. Da: <http://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/3.-emergency-management/3.10-integrated-pest-management> (consultato il 06/10/2014).
- Liotta G., 2001 – Isotteri o termiti. In: Chiappini E., Liotta G., Reguzzi M.C., Battisti A. (eds), *Insetti e restauro. Legno, carta, tessuti, pellame e altri materiali*. - Calderini Edagricole, Roma: 1-296.
- Lim J., Oh M., Lee J., Lee S., 2007 – *Cephalonomia gallicola* (Hymenoptera: Bethyilidae), New to Korea, an ectoparasitoid of the Cigarette Beetle, *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae). - *Journal of Asia-pacific Entomology*, 10 (4): 335-338.
- Lodal J., 2001 – Distribution and levels of anticoagulant resistance in rat (*Rattus norvegicus*) in Denmark. In: Pelz H.J., Cowan D.P., Feare C.J. (eds), *Advances in vertebrate pest management II*. - Filander Verlag, Fürth: 139-148.

- Lund M., 1994 – Commensal rodents. In: Buckle A.P., Smith R.H. (eds), *Rodent pests and their control*. - CAB International, University Press, Cambridge: 23-43.
- Mac Donald D.W., Fenn M.G.P., 1994 – The natural history of rodents. In: Buckle A.P., Smith R.H. (eds), *Rodent pests and their control*. - CAB International, University Press, Cambridge: 1-22.
- Madden O., Johnson J., Anderson J.R., 2010 – Pesticide remediation in context: towards standardization of detection and risk assessment. In: Carola A.E., Koestler R.J. (eds), *Pesticide Mitigation in Museum Collections: Science in Conservation*. Proc. from the MCI Workshop Series, 23-24 April 2007, Smithsonian Institute Scholarly Press, Washington D.C.: 1-6.
- Magaudda G., 1994 – Il biodeterioramento dei beni culturali. - Borgia Editore, ENEA, Roma, 1:375.
- Magaudda G., 2004 – The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved. - *Journal of Cultural Heritage*, 5: 113-118.
- Magaudda G., Adamo M., Rocchetti F., 2001 – Damage caused by destructive insects to cellulose previously subjected to gamma-ray irradiation and artificial aging. - *Restaurator*, 22: 242-250.
- Magaudda G., Adamo M., Pasquali A., Rossi G., 2000 – The effect of ionizing gamma ray radiation on the biology of the *Periplaneta americana*. - *Restaurator*, 2: 41-54.
- Magliano A., 2003 – Infestazioni da insetti in ambienti confinati. Una problematica sanitaria emergente: sclerodermi, pidocchi dei libri e cimici dei letti. - *Prevenendo*, rivista a cura del Dipartimento di Prevenzione ASL RmB, ottobre 2003: 8-11.
- Maini S., 2007 – Nuove applicazioni dei feromoni per la lotta integrata nei frutteti. - *Frutticoltura*, 2: 48-57.
- Marini M., Ferrari R., 1998 – A population survey of the Italian subterranean termite *Reticulitermes lucifugus* Rossi in Bagnacavallo (Ravenna, Italy), using the triple mark recapture technique (TMR). - *Entomological Science*, 15: 963-969.
- Marrelli N., 1996 – Implementing preservation management: a how-to manual for archives. - Réseau des archives du Québec, Montreal: 1-107.
- Masutti L., Zangheri S., 2001 – *Entomologia generale e applicata*. - CEDAM, Padova: 1-978.
- Matè D., Residori L. 2002a – Il deterioramento e la conservazione delle fotografie. In: Zappalà A. (ed), *Memoria e futuro dei documenti su carta: preservare per conservare*. - Forum, Udine: 256-297.
- Matè D., Residori L. 2002b – La conservazione delle fotografie. In: *Chimica e biologia applicate alla conservazione degli Archivi*. Centro di fotoreproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato. - Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione generale degli Archivi, Pubblicazioni degli Archivi di Stato, Saggi 74, Roma: 475-487.
- Matè D., Laudisa A., 2006 – Contenitori e montaggi per i documenti fotografici. - *AFT*, rivista di Archivio Fotografico Toscano, XXII (44): 3:12.
- Matè D., Sclocchi M.C., 2014 – *Fotografie. Finitura e montaggio*. Collana Arte e Restauro. - Nardini Editore, Firenze: 1-152.
- Matè D., Sclocchi M.C., Basilone C., 2004 – Le “atmosfere modificate” nella lotta ai microfunghi responsabili dei danni al patrimonio fotografico. - *Igiene Alimenti. Disinfestazione & Igiene Ambientale*, Luglio/Agosto: 35-40.

- Matè D., Residori L., Ruschioni E., 2009 – I documenti fotografici: problematiche relative al deterioramento entomologico e alla gestione degli infestanti. - *I Beni Culturali*, XVII (1): 37-45.
- Matè D., Cattaneo B., Manzone P., 2012 – Stampe fotomeccaniche nelle collezioni fotografiche: identificazione delle tecniche. - *I Beni Culturali*, XX (2): 35-49.
- Mazzotti M., Pampiglione G., 1999 – Blatte e patologie respiratorie umane ad esse correlate. - *Igiene Alimenti. Disinfestazione & Igiene Ambientale*, 4:1-3.
- Meinieri P.A., 1973 – Acari. - In: *Enciclopedia Medica Italiana*, seconda edizione, vol. 1, Firenze, USES Utet-Sansoni Edizioni Scientifiche: 114-120.
- Menegazzi C., 2003 – 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, Menegazzi C., Silvestri I. (eds), Kermes quaderni. - Nardini Editore, Firenze: 9-11.
- Mendes G.C.C., Brandão, T.R.S., Silva C.L.M., 2007 – Ethylene oxide sterilization of medical devices: a review. - *American Journal of Infection Control*, 35: 574-581.
- Messier P., Tafilowski D., 2007 – Color Photographs: a Timeline. - Paul Messier, Conservation of Photographs & Works on Paper. Da: http://paulmessier.com/pm/pdf/papers/color_timeline_2007.pdf (consultato il 16/11/2014).
- Mina A., Modica G., 1987 – L'arte della fotografia: la stampa d'arte negli antichi procedimenti fotografici. - Ulrico Hoepli, Milano: 1-346.
- MiBAC, 2001 – 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.
- Mitran A., Ponta C., Danis A., 2002 – Traitement antimicrobien des films cinématographiques au moyen du rayonnement gamma. - *Actes de 4^{es} Journées internationales d'études de l'ARSAG*, Groupe Liénart Press, 27-30 mai 2002, Paris: 235-248.
- Moise J.V., Virgolici M., Negut C.D., Manea M., Alexandru M., Trandafir L., Zorila F. L., Talasman C.M., Manea D., Nisipeanu S., Haiducu M., Balan Z., 2012 – Establishing the irradiation dose for paper decontamination. - *Radiation Physics and Chemistry*, 81: 1045-1050.
- Montanari M., 2007 – Il Biodeterioramento. In: Plossi M., Zappalà A. (eds), *Libri e documenti. Le scienze per la conservazione e il restauro*. - Biblioteca Statale Isontina Editrice, Edizioni della Laguna, Gorizia: 235-329.
- Montanari M., Ruschioni E., Trematerra P., 2008 – *Archivi & Biblioteche. Sugli infestanti e sulle infestazioni*. - Gangemi Editore, Roma, 1- 78.
- Moroni C., Maggi O., Pasquariello G., Tarsitani G., 2011 – Prevenzione e gestione del rischio biologico nelle attività di restauro. - *Biologi Italiani*, XLI, 10: 55-57.
- Moschini D., 2001 – Restauro virtuale. La tecnica per il recupero digitale delle informazioni nascoste. - *Kermes*, 41: 45-54.
- Mossi L., 2013 – La salvaguardia dei materiali dell'Archivio di Stato. - *Rivista dell'Associazione Biblioteca Salita dei Frati di Lugano*, edizione on line, Fogli, 34: 17-19. Da: <http://www.bibliotecafratilugano.ch> (consultato il 12/10/2014).
- Muzi G., dell'Omo M., Murgia N., Abbritti G., 2004. – Inquinanti chimici dell'aria interna ed effetti sulla salute. - *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 26 (4): 364-369.
- Nadeau L., 1989 – *Encyclopedia of Printing, Photographic and Photomechanical Processes*. 2 vols. - Atelier Luis Nadeau, Fredericton, New Brunswick, Canada: 1-208.

- Namias R., 1899 – I moderni processi fotomeccanici: fototipografia, fotolitografia, fotocollografia, fotocalcografia, fotomodellatura, tricromia. - Ulrico Hoepli, Milano: 1-316.
- Namias R., 1903 – Carte e viraggi per la fotografia artistica. - Il Progresso Fotografico, Milano: 1-80.
- Namias R., 1910 – Manuale teorico-pratico di chimica fotografica, vol. II (Processi fotografici positivi). - Il Progresso Fotografico, Milano: 1-472.
- Namias R., 1913 – I moderni processi fotomeccanici: fototipografia, fotolitografia, fotocollografia, fotocalcografia, fotomodellatura, tricromia. Seconda Edizione. - Ulrico Hoepli, Milano: 1-324.
- NDCC, 2014 – Storage and handling. Storage enclosures for photographic materials. Da: <http://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/5.-photographs/5.6-storage-enclosures-for-photographic-materials> (consultato il 25/04/2014).
- Not R., Passerini E.A., Sparacio I., 2008 – *Gastrallus pubens* Fairmaire, 1875 (Coleoptera Anobiidae) in Sicilia. - Naturalista Siciliano S. IV, XXXII (3-4): 435-442.
- Nugari M.P., Fanelli C., Palanti S., 2005 – Materiali Organici. In: Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O. (eds), La Biologia vegetale per i Beni Culturali, vol. 1. - Nardini Editore, Firenze: 322-326.
- Osualdini M., Giusto C., Comi G., Iacumin L., Cantoni C., Manzano M., 2007 – Decontaminazione di matrici alimentari mediante l'applicazione di Radio Frequenze. - Igiene Alimenti. Disinfestazione & Igiene Ambientale, Settembre/Ottobre: 11-15.
- Otero D'Almeida M.L., de Souza Medeiros Barbosa P., Guerra Baratti M.F., Borrelly S.I., 2009 – Radiation effects on the integrity of paper. - Radiation Physics and Chemistry, 78: 489-492.
- Parker T.A., 1988 – Study on integrated pest management for libraries and archives. - Unesco, Paris:1-119.
- Pasquariello G., 2011 – L'aerobiologia nella conservazione preventiva delle opere grafiche. - Biologi Italiani, XLI, 10: 11-15.
- Pasquariello G., Valenti P., Maggi O., Persiani A.M., 2005 – Ambienti Confinati. In: Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O. (eds), La Biologia vegetale per i Beni Culturali, vol. 1. - Nardini Editore, Firenze: 171-175.
- Pasquariello G., Moroni C., Architrave R., Tarsitani G., 2008 – Il rischio biologico nelle attività di conservazione e restauro dei beni culturali. - Atti del VI Congresso Nazionale IGIIC Spoleto, 2-4 ottobre 2008, Nardini Editore, Firenze: 89-96.
- Pelz H.J., Rost S., Hÿnerberg M., Fregin A., Heiberg A.C., Baert K., Macnicoll A.D., Prescott C.V., Walker A.S., Oldenburg J., Mÿller C.R., 2005 – The genetic basis of resistance to anticoagulants in rodents. - Genetics, 170: 1839-1847.
- Penichon S., 2013 – Twentieth-Century Color Photographs: Identification and Care. – The Getty Conservation Institute, J. Paul Getty Trust, Los Angeles: 1-360.
- Petrillo S.M., 2010 – Conservazione e restauro dei materiali fotografici. In: Treccani.it, L'Enciclopedia Italiana. XXI secolo. Da: [http://www.treccani.it/enciclopedia/conservazione-e-restauro-dei-materiali-fotografici_\(XXI_Secolo\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/conservazione-e-restauro-dei-materiali-fotografici_(XXI_Secolo)/) (consultato il 16/09/2014).
- Pinniger D., 1994 – Insect pests in museums. - Archetype Press, London: 1-58.
- Pinniger D., 2001 – Pest management in museums, archives, and historic houses. - Archetype Publications, London: 1-115.
- Pinniger D., 2003 – Saving our treasures-controlling museum pests with temperature extremes. - Pesticide Outlook, 14: 10-11.

- Pinniger D., 2011 – New developments in pest management for collections in museums and historic houses. - Proc. of the 7th International Conference on Urban Pests, 7-10 August 2011, Ouro Preto, Brazil, Robinson W.H., de Carvalho Campos A.E. (eds). Printed by Instituto Biológico, São Paulo: 17-21.
- Pinniger D., 2012 – Managing pests in paper-based collections. - Preservation Advisory Centre, The British library, London: 1-15. Da: <http://www.bl.uk/blpac/pdf/pests.pdf> (consultato il 05/11/2014).
- Pinniger D., Winsor P., 2004 – Integrated pest management. A guide for museums, libraries and archives. - Museums, Libraries and Archives Council, London: 1-37.
- Pinniger D.B., Child R.E., Chambers J., 2001 – Attractant pheromones of Museum insect pests. - Proc. of the 5th International Conference on Biodeterioration of Cultural Property, 12-14 November 2001, Sydney, Australia: 9-17.
- Pinzari F., Montanari M., 2011 – Mould Growth on Library Materials Stored in Compactus - Type Shelving Units. In: Sabah A. Abdul-Wahab (ed.) Sick Building Syndrome: in Public Buildings and Workplaces. - Springer, Berlin: 1-591.
- Pinzari F., Colaizzi P., Montanari M., Valenti P., 2003 – Responses of library material deteriorating-fungi to nitrogen atmosphere. In: Rauch A., Godaniburg P. (eds), Moulds, Health and Heritage. Conference Proceedings Braunschweig 4-5 September, 2003.
- Ploye F., 2005 – Les négatives photographiques en nitrate de cellulose: Le “plan nitrate” de la Ville de Paris - Support Tracé, 5: 22-36.
- Poggi R., 2007 – *Gastrallus pubens* Fairmaire, un pericolo per le biblioteche italiane (Coleoptera, Anobiidae). - Annali del Museo Civico di Storia Naturale “G. Doria”, Genova, 98: 551-562.
- Pointing S.B., Jones E.B.G., Jones A.M., 1998 – Decay prevention in waterlogged archaeological wood using gamma irradiation. - International Biodeterioration & Biodegradation, 42: 17-24.
- Pollini A., 1998 – Manuale di entomologia applicata. - Edagricole, Bologna: 1-1462.
- Ponce-Jimenez M., Toral F., Fornue E., 2002 – Antifungal protection and sizing paper with chitosan salts and cellulose ethers. Part 1, physical effects. - Journal of the American Institute for Conservation, 41: 243-254.
- Ponta C.C., 2008 – Irradiation conservation of cultural heritage. - Nuclear Physics News, 18 (1): 22-24.
- Principato M., 1998 – Artropodi patogeni rilevabili nelle abitazioni con l’esame diretto delle polveri ambientali. - Annali Italiani di Dermatologia Clinica e Sperimentale, 52 (2): 60-72.
- Principato M., 2000 – Dermatite estiva da *Scleroderma domesticum* (Hymenoptera: Bethyridae) nell’uomo. - Atti del XXXIX Congresso Nazionale A.D.O.I., 13-16 settembre 2000, Vieste, Bollettino Istituto Dermatologico S. Gallicano, 3 (3): 303-305.
- Principato M., Polidori G.A., 1995 – *Scleroderma domesticum* (Hymenoptera: Bethyridae), un parassita associato al tarlo dei mobili, quale causa di dermatite nell’uomo. - Proc. del III Congresso Associazione Nazionale di Parassitologia Medica, 7-9 settembre 1995, Brescia, Rivista di Parassitologia, vol. XII (LVI), suppl. 3.
- Principato M., Lapomarda V., 2005 – Dermatite da *Allepyris ruficrus* Kieffer, 1906 (Hymenoptera: Bethyridae, Epyrinae). - Atti del V Congresso Nazionale della Società Italiana di Dermatologia Allergologica, Professionale ed Ambientale (SIDAPA), Bagni di Tivoli, 27-28 ottobre 2005, (abstract): 94.
- Purewal V., 2001a – Analysis of the pesticide residues present on herbarium sheets within the National museums and Galleries of Wales. In: Kingsley H., Pinniger D., Xavier-Rowe

- A., Winsor P. (eds), Proc. of 2001: Integrated pest Management for Collections. A Pest odyssey. 1-3 October, London, Earthscan/James & James, London: 1-144.
- Purewal, V., 2001b – The identification of four persistent and hazardous residues present on historic plant collections housed within the National Museum and Galleries of Wales. – SPNHC, Collection Forum, 16 (1-2): 77-86.
- Quintric G., 2006 – Conservation restauration des photographies en couleurs à développement chromogène: étude de la réactivité des colorants azomethiniques aux solvants. - Support Tracé, 6: 72-77.
- Reifsnnyder J., 2002 – Convegno di Vantaa: verso una strategia europea per la conservazione preventiva dei beni culturali. - Kermes, XV, 47: 67-70.
- Reilly J.M., 1980 – The albumen & salted paper book: the history and practice of photographic printing, 1840-1895. - Light Impressions Corporation, Rochester: 1-133.
- Reilly J.M., 1993 – IPI Storage guide for acetate film. - Image Permanence Institute, Rochester Institute of Technology, Rochester NY: 1-24. Da: https://www.imagepermanenceinstitute.org/webfm_send/299 (consultato il 12/10/2014).
- Reilly, J.M., 1998 – Storage guide for color photographic materials: caring for color slides, prints, negatives, and movie films. - University of the State of New York, NY: 1-48.
- Reilly J.M., McCabe C., 1986 – Care and identification of 19th century photographic prints. Kodak Publication, no. G-25. - Eastman Kodak Company., Rochester, N.Y.: 1-116.
- Reilly J.M., Adelstein P.Z., Nishimura D.W., 1991 – Preservation of Safety Film. Final Report to the Office of Preservation, National Endowment for the Humanities. - Image Permanence Institute, Rochester Institute of Technology, Rochester, N.Y.: 1-103.
- Richardin P., Bonassies S., 1997 – Dosage de l'oxirane residue dans des documents désinfectés par chromatographie en phase gazeuse avec la méthode de l'espace de tête. - Proc. Actes des 3es journées internationales d'études de l'ARSAG, 21-25 avril 1997, Paris: 204-213.
- Ritzenthaler, M.L., Vogt-O'Connor D., 2006 – Photographs: archival care and management. - Society of American Archivists, Chicago: 1-529.
- Rizzo M.M., Machado L.D.B., Rela P.R., Kodama Y., 2009 – Gamma rays irradiation process on restored painting from the XVII century. - Proc. International Nuclear Atlantic Conference (INAC), 27 September - 2 October 2009, Ed. Associação Brasileira de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, Brazil: 1-7.
- Rocchetti F., Adamo M., Magaudda G., 2002 – Fastness of printing inks subjected to gamma ray irradiation. - Restaurator, 23: 15-26.
- Roudabush R.L., 1975 – Insect damage to color film, photographic applications in science. - Technology and Medicine, 10 (2): 28-33.
- Ruschioni E., 2002 – I roditori e i volatili nei depositi di archivio. I In: Chimica e biologia applicate alla conservazione degli Archivi. Centro di fotoreproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato. - Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione generale degli Archivi, Pubblicazioni degli Archivi di Stato, Saggi 74, Roma: 399-406.
- Ruschioni E., Veca E., 2002 – L'entomologia negli archivi. In: Chimica e biologia applicate alla conservazione degli Archivi. Centro di fotoreproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato. - Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione generale degli Archivi, Pubblicazioni degli Archivi di Stato, Saggi 74, Roma: 381-397.
- Ruschioni E., Matè D., Cesareo U., 2005 – Insetti e problemi sanitari negli archivi. - Biologi Italiani, XXXV (2): 52-56.

- Ruschioni E., Matè D., Cesareo U., 2007 – Aerobiologia e problemi di entomofauna negli archivi. - Bollettino ICR, Nuova serie, 14: 40-43.
- Ruschioni E., Matè D., Adamo M., Cesareo U., 2009 – *Blaptica dubia* (Blattodea, Blaberidae): damage to photographs. - Proc. of the Meeting at Campobasso IOBC/WPRS Working Group on Integrated Protection of Stored Products, 29 giugno - 2 luglio 2009, Athanassiou C.G., Adler C., Trematerra P. (eds), IOBC wprs Bulletin, Bulletin OILB srop, 69: 127-134.
- Russell H. & A., 2004 – Principles and practice of disinfection preservation & sterilization. - Fraise A.P., Lambert P.A., Maillard J-Y (eds), Blackwell Publishing, IV edition, Malden Massachusetts, Oxford, Carlton Victoria: 1-678.
- Saccà G., 1940a – Contributo alla conoscenza dei coleotteri della fauna carticola. - Bollettino del Regio Istituto di patologia del libro, 2 (1): 7-12.
- Saccà G., 1940b – Secondo contributo alla conoscenza della fauna carticola. Osservazioni sulla biologia dello *Scleroderma domesticum* Kieff (Hymenoptera Bethyridae). - Bollettino del Regio Istituto di patologia del libro, 2 (4): 1-12.
- Saccà G., 1941 – Partenogenesi in *Scleroderma domesticum* Kieff. - Bollettino del Regio Istituto di patologia del libro, 3 (1): 11-12.
- Saccà G., 1973 – Aculeati. In: Enciclopedia Medica Italiana, seconda edizione, vol. 1, USSES, Utet-Sansoni Edizioni Scientifiche, Firenze: 419-423.
- Salvadori O., 2003 – The control of biodeterioration. - Coalition, 6 (1): 16-20.
- Scaramella L., 1999 – Fotografia. Storia e riconoscimento dei procedimenti fotografici. - Edizioni De Luca, Roma: 1-258.
- Schmidt O., 2001 – Insecticide contamination at The National Museum of Denmark: A Case Study. - SPNHC, Collection Forum: 16 (1-2). Da: http://www.spnhc.org/media/assets/cofo_2001_V16N12.pdf (consultato il 08/09/2014).
- Sclocchi M. C., 2002 – La disinfezione e la disinfestazione dei supporti archivistici. In: Chimica e biologia applicate alla conservazione degli Archivi. Centro di fotoreproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato. - Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione generale degli Archivi, Pubblicazioni degli Archivi di Stato, Saggi 74, Roma: 557-575.
- Sclocchi M. C., Adamo M., Matè D., 2010 – Valutazione della crescita di *Penicillium chrysogenum* su materiale fotografico trattato con irraggiamento γ e ossido di etilene. - Atti del VIII Congresso Nazionale IGHC, Lo Stato dell'Arte 8, Venezia 16-18 settembre 2010, Nardini Editore, Firenze: 331-33.
- Selwitz C., Maekawa S., 1998 – Inert gases in the control of museum insect pests. - Research in conservation, The Getty conservation Institute, Los Angeles: 1-107.
- Sequeira S., Cabrita E.J., Macedo M.F., 2012 – Antifungals on paper conservation: An overview. - International Biodeterioration & Biodegradation, 74: 67-86.
- Servadei A., Zangheri S., Masutti L., 1972 – Entomologia generale ed applicata. - Casa editrice Dott. Antonio Milani (Cedam), Padova: 1-733.
- Silverman R., 2004 – The day the University changed. - Idaho Librarian, 55 (3). Da: <http://www.idaholibraries.org/newidaholibrarian/200402/index.htm> (consultato il 19/04/2014).
- Sinco P., 2000 – The use of gamma rays in book conservation. - Nuclear News, april: 38-40.
- Sirois J.P., Sansoucy G., 2001 – Analysis of museum objects for hazardous pesticide residue: a guide to techniques. - SPNHC, Collection forum, 17 (1-2): 49-66.

Sirois P., Johnson J.S., Shugar A., Poulin J., Madden O., 2008 – Pesticide Contamination: Working Together to Find a Common Solution. The Current State of Affairs. In Dignard C., Helwig K., Mason J., Nanowin K., Stone T. (eds), *Preserving Aboriginal Heritage: Technical and Traditional Approaches*. - Canadian Conservation Institute, Ottawa, Canada: 175-186.

Smith L.M., Appel A.G., 2008 – Comparison of Several Traps for Catching German Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) Under Laboratory Conditions. - *Journal Economic Entomology*, 101 (1): 151-158.

Story K.O., 1985 – Approaches to Pest Management in Museums. - Smithsonian Institution, Washington D.C.: 1-165.

Strassberg R., 1978 – The use of fumigants in archival repositories. - *The American Archivist*, 41: 25-36.

Stulik D.C., Kaplan A., 2013 – The Atlas of Analytical Signatures of Photographic Processes. - Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA. Da: http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/atlas.html (consultato il 19/10/2014).

Taddei L., Principato M., Bruttarini L., Quercia A., 2005 – Dermatite occupazionale da *Pyemotes ventricosus* (Acari Pyemotidae). - *Annali italiani di Dermatologia allergologica clinica e sperimentale*, 59: 36-38.

Tateo F., Bonomi M., 2006 – Determination of ethylene chlorohydrin as marker of spices fumigation with ethylene oxide. - *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 83-87.

Thacker J.R.M., 2002 – An Introduction to Arthropod Pest Control. - Published by the press syndicate of the University of Cambridge, United Kingdom: 1-343.

Tarsitani G., 2005 – La prevenzione del rischio biologico: aspetti igienistici della microflora. In: Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O. (eds), *La Biologia vegetale per i Beni Culturali*, vol. 1. - Nardini Editore, Firenze: 302-307.

Trematerra P., 2012 – Advances in the use of pheromones for stored-product protection. - *Journal Pest Science*, 85 (3): 285-288.

Trematerra P., Süß L., 2007 – Prontuario di entomologia merceologica e urbana. Con note morfologiche, biologiche e di gestione delle infestazioni. - Aracne Editrice, Roma: 1-160.

Trematerra P., Pinniger D., 2014 – Museum Pests - Cultural Heritage Pests. In: Arthur F., Athanassiou C. (eds), *Recent advances in stored product protection*. - Springer Press (in corso di pubblicazione).

Tremblay E., 2003 – Entomologia applicata. Volume 1. Generalità e mezzi di controllo. - Liguori Editore, Napoli: 1-282.

Urban J., Justa P., 1986 – Conservation by gamma radiation: the Museum of Central Bohemia in Roztoky. - *Museum*, 151: 165-167.

UCSF, 2011 – Integrated Pest Management Checklist, California Childcare Health Program. - University of California (UC), San Francisco School of Nursing, 1.12. Da: <http://www.si.edu/mci/downloads/articles/pests9.pdf> (consultato il 04/10/2014).

UNI 10586:1997 – Documentazione. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti.

UNI 10829:1999 – Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione: Misurazioni ed analisi.

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.

- UNESCO 2014 – 4. Photographic Materials. - Memory of the world. Safeguarding the Documentary Heritage A guide to Standards, Recommended Practices and Reference Literature Related to the Preservation of Documents of All Kinds, International Advisory Committee for the UNESCO Memory of the World Programme. Da: <http://www.unesco.org/webworld/mdm/administ/en/guide/guide006.htm> (consultato il 16/09/2014).
- Valentin N., 1986 – Biodeterioration of library materials. Disinfection methods and new alternatives. - *The Paper Conservator*, 10: 40-45.
- Valentin N., Ortega R.G., 1999 – El biodeterioro en el museo. - *Arbor*, 164 (645): 85-108.
- Wilhelm H., 2006 – A 15-Year History of Digital Printing Technology and Print Permanence in the Evolution of Digital Fine Art Photography – From 1991 to 2006, Final Program and Proceedings: NIP22: The^{22nd} International Conference on Digital Printing Technologie. - IS&T: The Society for Imaging Science and Technology Kilworth Lane Springfield, Virginia: 308-315. Da: http://www.wilhelm-research.com/ist/WIR_IST_2006_09_HW.pdf (consultato il 06/10/2014).
- Wilhelm H.G., Brower C., 1993 – The permanence and care of color photographs: traditional and digital color prints, color negatives, slides and motion pictures, preservation. - Pub. Co, Grinnell, IA. Iowa, 1-60. Da: http://wilhelm-research.com/book_toc.html (consultato il 19/09/2014).
- Wirth P., 1934 – Les Coléoptères nuisibles aux Céréales et aux Produits dérivés. - Librairie le Francois, Paris: 1-125.
- Zahradník P., 1996 – New species of *Gastrallus* from Europe (Coleoptera: Anobiidae). - *Klapalekiana*, 32: 267-269.
- Zahradník P., 2007 – Contribution to knowledge of the tribe Gastrallini (Coleoptera: Bostrichoidea: Anobiidae) - I. New species of the genus *Gastrallus* from Turkey, with review of the Palaearctic species. - *Studies and reports of District Museum Prague-East Taxonomical Series*, 3 (1-2): 171-178.

Riferimenti alle immagini

Capitolo 1

Figg. 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.5a, 1.5b, 1.6, 1.7, 1.7a, 1.8, 1.8a, 1.8b, 1.9, 1.10, 1.11, 1.11a, 1.12, 1.12a, 1.13, 1.13a, 1.14, 1.14a, 1.14b, 1.14c, 1.17, 1.18, 1.20, 1.21, 1.22, 1.23, 1.23a, 1.23b, 1.24, 1.25, 1.26, 1.27, 1.27a, 1.27b, 1.28, 1.29, 1.29a, 1.30, 1.31, 1.31a, 1.31b, 1.34, 1.34a, 1.35, 1.36, 1.37, 1.38, 1.39, 1.40, 1.41, 1.42, 1.48, 1.49, 1.49a, 1.50, 1.50a, 1.51, 1.52, riprese fotografiche e digitalizzazioni eseguite da Donatella Matè. I materiali mostrati appartengono alle collezioni degli Autori e ad esemplari catturati e allevati a scopo di studio dagli stessi.

Figg. 1.4, 1.15, riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Vittorio Bianchi Matè.

Figg. 1.16, 1.32, 1.33, 1.43, 1.44, 1.45, 1.45a, 1.46, riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Sergio Lucretti (ENEA - UTAGRI C.R. Casaccia).

Fig. 1.19, ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Marianna Adamo.

Fig. 1.47, ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Elena Ruschioni.

Capitolo 2

Figg. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.6, archivio Capizzi & Santini.

Figg. 2.5, 2.7, 2.7a, 2.7b, 2.7c, 2.8, riprese fotografiche eseguite da Marianna Adamo.

Figg. 2.9, 2.10, 2.10a, 2.11, 2.12, 2.12a, 2.12b, 2.13, 2.13a, 2.14, 2.14a, 2.14b, 2.14c, 2.14d, riprese fotografiche e digitalizzazioni eseguite da Donatella Matè.

Capitolo 3

Figg. 3.1, 3.2, riprese fotografiche eseguite da Pasquale Trematerra.

Fig. 3.3, disegno (da: Tremblay E., 2003 – Entomologia applicata. Volume 1. Generalità e mezzi di controllo. - Liguori Editore, Napoli: 1-282) modificato da Roberto Bianchi.

Fig. 3.4, ripresa fotografica eseguita da Marianna Adamo.

Figg. 3.5, 3.5a, 3.5b, 3.5c, 3.6, 3.6a, 3.7, 3.7a, 3.7b, 3.13, 3.14, 3.16, 3.17, 3.18, riprese fotografiche eseguite da Donatella Matè.

Figg. 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.15, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Carlo Tronci (ENEA - UTAGRI C.R. Casaccia), Alessandra Paolini e Alessandra La Marca della BBCA-onlus.

Fig. 3.12, disegno (da: Bravery A.F., Berry R.W., Carey J.K., Cooper D.E., 1987 – Recognising wood rot and insect damage in buildings. Building Research Establishment Report. - Building Research Establishment, Garston, Watford: 1-120) modificato da Roberto Bianchi.

Capitolo 4

Fig. 4.1, ripresa fotografica da: Baccaro S., Cecilia A, Pasquali A., 2008 – γ Irradiation facility at ENEA-Casaccia Centre (Rome) - RT/2005/28/FIS.

Capitolo 5

Fig. 5.1, disegno modificato da Roberto Bianchi.

Figg. 5.2, 5.3, riprese fotografiche eseguite da Ubaldo Cesareo.

Figg. 5.4, 5.5, 5.6, archivio Capizzi & Santini.

Capitolo 6

Figg. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Donatella Matè.

Fig. 6.5, riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Sergio Lucretti (ENEA - UTAGRI C.R. Casaccia).

Capitolo 7

Figg. 7.1, 7.2, 7.3, tratte da: Grandi G., 1966 – Istituzioni di entomologia generale, Edizioni Calderini. - Bologna:1-654.

Figg. 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, tratte da: Lapesme P., 1944 – Les Coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. - Lechevalier, Paris:1-335.

Capitolo 8

Fig. 8.1, ripresa fotografica al microscopio ottico eseguita da Pierluigi Manzone. Fig. 8.19, 8.52a, ripresa fotografica allo stereomicroscopio eseguita da Pierluigi Manzone. Figg. 8.23, 8.23a, 8.24, 8.46, 8.48, 8.48a, 8.49, 8.49a, 8.50, 8.50a, 8.53, 8.53a, collezione Pierluigi Manzone; digitalizzazioni e riprese fotografiche allo stereomicroscopio eseguite da Pierluigi Manzone.

Figg. 8.2, 8.3, 8.3a, 8.4, 8.4a, 8.5, 8.5a, 8.6, 8.6a, 8.7, 8.13, 8.15, 8.16, 8.17, 8.18, 8.18a, 8.38, collezione Michael G. Jacob.

Fig. 8.8, autore Barbara Cattaneo; ripresa fotografica dell'autrice.

Figg. 8.9, 8.10, 8.11, 8.11a, 8.12, 8.14, 8.20, 8.21, 8.22, 8.22a, 8.25, 8.25a, 8.26, 8.26a, 8.27, 8.28, 8.28a, 8.30, 8.35, 8.36, 8.36a, 8.37, 8.40, 8.40a, 8.42, 8.44, 8.44a, 8.47, 8.51, collezione Donatella Matè.

Fig. 8.29, autore Donatella Matè.

Figg. 8.31, 8.32, 8.33, 8.34, riprese fotografiche di Barbara Cattaneo.

Fig. 8.39, cianotipia classica, 2008, fig. 8.43, Ponte di Cà Marcello, 2002, fig. 8.45, Monte Mondeval e Civetta, 2002, autore Alberto Novo©.

Fig. 8.41, Sciliar, 1996, autore Luigi Menozzi©.

Fig. 8.52, 1990, autore Pierluigi Manzone©.

Capitolo 9

Figg. 9.1, 9.1a, 9.2, 9.3, 9.3a, 9.4, 9.4a, 9.5, 9.6, 9.7, 9.8, 9.9, 9.10, 9.11, 9.12, 9.13, riprese fotografiche eseguite da Federica Delia; i materiali appartengono a collezioni private. Gli interventi di restauro sono a cura di Federica Delia.

Ringraziamenti

Si ringrazia Michael G. Jacob e Pierluigi Manzone per la concessione alla pubblicazione di immagini relative a fotografie appartenenti alle loro collezioni. Si ringraziano anche Pierluigi Manzone, Luigi Menozzi e Alberto Novo, soci del Gruppo Rodolfo Namias, per avere messo a disposizione alcune immagini.

Un ringraziamento va, per la gentile collaborazione prestata nell'esecuzione di alcune riprese fotografiche allo stereomicroscopio, a Sergio Lucretti (ENEA -UTAGRI C.R. Casaccia), a Carlo Tronci (ENEA - UTAGRI C.R. Casaccia), ad Alessandra Paolini e ad Alessandra La Marca della Fondazione "Biotechnology and Biological Control Agency", BBCA-onlus.

Siamo grati a Roberto Bianchi per l'elaborazione di alcune fotografie e disegni riportati nel testo.

Profilo degli Autori

Marianna Adamo

Biologa, Ricercatrice presso l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile - ENEA C.R. Casaccia, nell'Unità Tecnico-Scientifica UTTMAT-IRR. Svolge attività di ricerca occupandosi principalmente delle tecniche di irraggiamento applicabili in ambito biologico. Da vari anni studia la possibilità di utilizzare le radiazioni gamma per la disinfezione e disinfestazione di materiale archivistico-librario soprattutto in casi di calamità naturali. È autrice di numerose pubblicazioni scientifiche.

Dario Capizzi

Funzionario presso l'Agenzia Regionale per i Parchi della Regione Lazio. Segue progetti di monitoraggio e conservazione della biodiversità e di ripristino ambientale, questi ultimi inerenti il controllo e l'eradicazione dei roditori dalle piccole isole italiane. È autore di numerose pubblicazioni scientifiche riguardanti le problematiche di gestione nonché le relazioni tra prede e predatori.

Barbara Cattaneo

Restauratrice di materiali librari e fotografici presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, è laureata in Scienze dei beni culturali ed ha un diploma regionale in Restauro della carta. Le esperienze di formazione più importanti sono state presso il Trinity College di Dublino, la George Eastman House di Rochester (N.Y.), ICCROM e NRICPT (Tobunken) a Tokyo. Insegna il restauro della fotografia presso l'ICRCPAL, l'OPD e la Fondazione Alinari. È docente a contratto di Storia della fotografia presso l'Università di Firenze.

Ubaldo Cesareo

Biologo, studioso delle scienze entomologiche e della biologia applicate alla conservazione dei beni archivistici e librari, ha collaborato con vari istituti del MiBACT. In tale ambito è autore di diverse pubblicazioni tecnico-scientifiche.

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 UTAGRI-ECO, 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). Ha collaborazioni con università ed istituti di ricerca nazionali e internazionali. 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 presso il CFLR di Roma, Alinari e OPD di Firenze. Lavora per archivi, biblioteche e collezioni private e collabora con diverse istituzioni del MiBACT, tra cui l'Istituto centrale per il catalogo e la documentazione, la Biblioteca nazionale centrale di Roma e l'Archivio di Stato di Roma.

Donatella Matè

Bibliotecario conservatore presso l'Istituto Centrale per il Restauro e la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario. Laureata in Scienze biologiche si occupa anche del bio-deterioramento e della conservazione delle fotografie. Presso la Scuola d'Alta Formazione e di Studio (SAF) dell'ICRCPAL, insegna argomenti inerenti la conservazione del materiale fotografico. È autrice di varie pubblicazioni in tema.

Luciano Santini

È stato Professore Ordinario di Entomologia agraria presso l'Università di Pisa, Direttore del Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose e Preside della Facoltà di Agraria. La sua attività di ricerca ha avuto come argomento privilegiato la biologia, l'ecologia e le tecniche atte a controllare insetti e roditori di interesse agrario e forestale. È autore di numerose pubblicazioni scientifiche riguardanti la zoologia applicata e l'ecologia, l'impatto e la gestione dei roditori che frequentano gli ecosistemi variamente antropizzati.

Pasquale Trematerra

Professore Ordinario di Entomologia generale e applicata presso l'Università degli Studi del Molise. 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. Partecipa e coordina vari gruppi di ricerca nazionali e internazionali. È autore di numerose pubblicazioni scientifiche e testi divulgativi in cui si affrontano anche temi di entomologia merceologica e urbana.

Edito dall'ENEA

Unità Centrale Relazioni – Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma

www.enea.it

Revisione editoriale: Giuliano Ghisu

Copertina: Cristina Lanari

Stampa: Laboratorio tecnografico – Centro Ricerche ENEA Frascati

Gennaio 2015

Il testo fornisce informazioni di carattere generale sulle specie animali (principalmente insetti e roditori) che con maggiore frequenza si rintracciano negli ambienti di conservazione delle fotografie e sui danni che essi possono arrecare. Una parte è dedicata alle metodologie e alle strategie di prevenzione nonché ai diversi metodi di lotta capaci di limitare le infestazioni.

Sono trattate anche le varie tipologie di tecniche fotografiche e delineate le problematiche del restauro conservativo utili ad arginare gli effetti del deterioramento.

Alla realizzazione dell'opera hanno contribuito diversi Autori, specialisti in vari campi disciplinari della biologia applicata e delle attività di studio interessate alla valorizzazione, conservazione, tutela e fruizione dei beni culturali.

Presentazione di *David Pinniger*

Contributi di *Marianna Adamo, Dario Capizzi, Barbara Cattaneo, Ubaldo Cesareo, Massimo Cristofaro, Federica Delia, Donatella Matè, Luciano Santini, Pasquale Trematerra*



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

www.enea.it