

## 1. Disinfestazione

Introduzione. La difesa dei manufatti e degli spazi edilizi dagli agenti infestanti

Eliminazione meccanica di agenti biodeteriogeni di natura vegetale (piante inferiori e superiori)

Disinfestazione del legno mediante applicazione di biocidi

Disinfestazione di vegetazione superiore e inferiore con trattamenti chimici

Sistemi fisici e indiretti per l'eliminazione di agenti biodeteriogeni

Fumigazione con gas tossici

Eliminazione di insetti mediante trappole

### LA DIFESA DEI MANUFATTI E DEGLI SPAZI EDILIZI DAGLI AGENTI INFESTANTI

Per disinfestazione, in senso generale, si intende ogni operazione che tenda a distruggere piccoli animali, quali topi, arvicole, volatili, insetti, o vegetali che siano dannosi o invadenti<sup>1</sup>, mediante sistemi di lotta diversificati. Operazione non dissimile per finalità, ma volta alla distruzione di organismi con struttura biologica più semplice è la disinfezione, eseguita per mezzo di disinfettanti organici o inorganici (disinfezione chimica), con acqua in ebollizione, vapore d'acqua, calore secco o aria calda, radiazioni (disinfezione fisica, o più propriamente sterilizzazione), oppure per mezzo di filtri che trattengono i microbi (disinfezione meccanica)<sup>2</sup>.

Nel campo della salvaguardia dei beni culturali, lo scopo principale delle operazioni disinfestanti (o disinfettanti) è assicurare la sopravvivenza dei manufatti artistici, agendo sugli organismi che li infestano e che minacciano la loro integrità, con azioni meccaniche, chimiche o fisiche, spesso tra loro congiunte e legate al ciclo vitale degli organismi stessi.

Quasi tutte le operazioni di eliminazione degli attacchi biologici costituiscono per lo più adattamenti di sistemi di lotta agli organismi biodeteriogeni sviluppati in altri ambiti, con conseguenti limiti di applicabilità nel settore di nostro interesse, come d'altronde avviene spesso nel campo del restauro, anche rispetto ad altri problemi.

La questione di come fronteggiare aggressioni biologiche di varia natura si è posta in un primo momento, e con ricadute economiche e sociali di portata assai più rilevante, nel campo dell'igiene ambientale, in quello medico-sanitario, in quello agricolo e agro-alimentare e solo in parte in quello delle costruzioni. Si pensi, ad esempio, alle campagne di derattizzazione (eliminazione di topi e ratti), o di disinfestazione (lotta all'infestazione da insetti) attuate per assicurare la salubrità degli

ambienti di vita dell'uomo e degli animali domestici oppure, in agricoltura, al diserbo (o diserbatura), impiegato per contrastare la diffusione anomala e incontrollata di specie vegetali concorrenti con quelle coltivate, con conseguente compromissione della resa dei raccolti. Ancora, si ricordi la disinfestazione preventiva, svolta a prescindere dal manifestarsi di un'aggressione biologica, delle derrate alimentari immagazzinate, per impedire lo sviluppo di muffe o di insetti, e attuata principalmente con sistemi di tipo fisico, per non contaminare gli alimenti con sostanze tossiche. Nel settore delle costruzioni, fin dalla prima metà del XIX secolo, i trattamenti industriali di preservazione del legno hanno avuto un precoce sviluppo in considerazione della pericolosità degli attacchi biologici per la durata del materiale.

I sistemi di eliminazione dei biodeteriogeni comunemente utilizzati possono essere suddivisi, rispetto ai mezzi impiegati, in disinfestazioni chimiche, fisiche e meccaniche.

Le disinfestazioni chimiche si basano sull'impiego di sostanze tossiche che, applicate con procedure diverse (a spruzzo, a pennello, mediante fumigazione, sottovuoto, a pressione ecc.) al manufatto, arrestano le funzioni vitali degli organismi parassiti. Questi metodi sono utilizzati nella eliminazione di moltissime aggressioni biologiche e su quasi ogni supporto, variando il tipo di biocida, la sua concentrazione e le metodiche applicative.

I sistemi fisici, invece, ricorrono alla variazione dei parametri ambientali fondamentali (temperatura, umidità e pressione) per indurre la cessazione dei processi vitali degli infestanti. A questo fine, sono utilizzate anche le radiazioni ionizzanti o le microonde, di recente sperimentazione.

I manufatti aggrediti da agenti biodeteriogeni sono posti in camere stagne, all'interno delle quali sono create e mantenute per un determinato tempo condizioni ambientali che impediscono la sopravvivenza degli organismi infestanti. Questi metodi sono impiegati soprattutto per l'eliminazione degli insetti dai manufatti realizzati con materiali organici e, in quest'ambito, assicurano elevata efficacia ma scarsa durata.

Infine, le disinfestazioni di tipo meccanico si basano sulla rimozione, manuale o mediante strumenti adatti (bisturi, raschietti, cesoie), dal manufatto o dall'ambiente in cui esso si trova, delle forme vitali che ne causano il degrado. Le disinfestazioni meccaniche utilizzate congiuntamente con quelle chimiche costituiscono i sistemi forse più diffusi per l'eliminazione della vegetazione superiore dai siti, dagli edifici e dai resti archeologici, in quanto consentono di ridurre le dosi degli eventuali prodotti biocidi impiegati e sono adatti a interventi di tipo manutentivo da ripetersi ciclicamente.



Figura 1 • Angkor (Cambogia), sito archeologico. Ta Prohm, unico complesso del sito mantenuto nelle condizioni in cui è stato scoperto.

## DSZ 01 ELIMINAZIONE MECCANICA DI AGENTI BIODETERIOGENI DI NATURA VEGETALE (PIANTE INFERIORI E SUPERIORI)

### PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

La presenza di vegetazione infestante nei manufatti architettonici può determinare, in senso generale, un degrado di tipo “estetico” ma è in grado anche di provocare gravi forme di alterazione dei materiali e delle componenti costruttive, fino a indurre veri e propri dissesti di ordine strutturale. Per valutare tali rischi, è fondamentale la corretta identificazione e l’approfondita conoscenza degli agenti biodeteriogeni che interagiscono con i diversi substrati coinvolti dall’infestazione, ossia degli organismi vegetali che si sono insediati sul manufatto e di cui occorre valutare necessità e modi della eventuale rimozione che può essere eseguita, oltre che con mezzi chimici, anche con metodi meccanici.

In ogni caso, occorre anzitutto valutare il tipo di infestazione vegetale cui un manufatto è soggetto, e l’effettivo grado di pericolosità per la sua conservazione, ricordando che:

- le microalghe hanno un’azione sia diretta (ricoprente, meccanica, corrosiva ) che indiretta, in quanto creano l’ambiente adatto all’ulteriore impianto anche di licheni, briofite (muschi ed epatiche) e tracheofite (piante) e di altri micro e macro organismi infestanti;
- i licheni agiscono invece creando fenomeni di copertura, decoesione, fratturazione e corrosione;
- le briofite (ossia muschi ed epatiche) e le tracheofite (ossia il gruppo di piante fornite di un sistema vascolare per la circolazione della linfa, comprendente le piante pteridofite e le spermatofite) hanno un’azione prioritaria di copertura, ma svolgono anche azioni meccaniche di disagregazione, penetrando all’interno dei materiali e degli elementi costruttivi.

## **DSZ 01 ELIMINAZIONE MECCANICA DI AGENTI BIODETERIOGENI DI NATURA VEGETALE (PIANTE INFERIORI E SUPERIORI)**

Lo sviluppo di alghe, licheni e muschi, è generalmente favorito dalla presenza di un piccolo strato di humus, formato dal deposito di particolato atmosferico e di materiale organico di varia origine (guano di volatili, deiezioni animali in genere ecc.). La colonizzazione del manufatto da parte di tali organismi vegetali, inoltre, è segnale inequivocabile della presenza di un elevato tasso di umidità e ciò riveste particolare interesse per l'intero processo analitico e diagnostico che ogni intervento di risanamento richiede sia svolto sul manufatto e sul suo ambiente.

Le piante superiori svolgono un'azione distruttiva principalmente attraverso la pressione esercitata all'interno del manufatto dall'accrescimento del loro apparato radicale che può spingersi entro le discontinuità e le macrofratture preesistenti, o crearne di nuove producendo notevoli danni meccanici, quali il distacco degli intonaci o la caduta di muri, oltre a facilitare l'accesso dell'acqua all'interno della costruzione innescando ulteriori processi di degrado.

Per converso, occorre tuttavia ricordare come vi siano numerosi casi (ad es., molti templi dell'America centrale o del subcontinente indiano) in cui le radici di grandi piante arboree, paradossalmente, "tengono insieme" i resti architettonici di antichi monumenti. Simili casi, insieme ad altre ragioni più oltre evidenziate, inducono a esaminare attentamente origini, forme e agenti delle infestazioni vegetali e valutare con altrettanta cautela l'effettiva necessità e utilità della loro rimozione per evitare che essa provochi più danni di quanti non ne possa risolvere.

Anche l'azione chimica esercitata dalle sostanze organiche acide (quali l'acido 2-chetogluconico, ossalico e citrico) normalmente liberate dalle piante attraverso le radici, possono provocare consistenti danni al manufatto entro cui si sono sviluppate, contribuendo ad esempio alla solubilizzazione dei componenti minerali dei materiali cui sono ancorate.

## **DSZ 01 ELIMINAZIONE MECCANICA DI AGENTI BIODETERIOGENI DI NATURA VEGETALE (PIANTE INFERIORI E SUPERIORI)**

Il problema della rimozione della vegetazione infestante (piante erbacee, arbustive e arboree) interessa molti manufatti architettonici esposti all'aperto (compresi quelli ricadenti in zone archeologiche e di scavo), soprattutto in climi caldi e umidi e in presenza di condizioni ambientali e climatiche favorevoli all'attecchimento e alla crescita dei diversi organismi.

In ogni caso e in termini generali, si può anzitutto ricordare che l'eliminazione meccanica di incrostazioni biologiche può essere effettuata tramite l'utilizzo di spatole, bisturi e spazzole, e con l'eventuale ricorso all'uso di acqua nebulizzata per ammorbidire la superficie delle incrostazioni, e alle tecniche di microsabbatura, anche se queste possono erodere e rovinare il substrato, ragione per cui il loro uso è altamente sconsigliato. Tali metodi, inoltre, sono spesso associati all'impiego di biocidi di vario genere (v. DSZ03 - Eliminazione vegetazione superiore e inferiore mediante trattamenti chimici).

Le piante superiori, invece, possono essere eliminate mediante taglio o mediante strappo (quest'ultimo esclusivamente in presenza di erbe e vegetazione inferiore non arbustiva né tanto meno arborea per evitare danni al manufatto), impiegando talvolta contemporaneamente erbicidi specifici (v. DSZ03 - Eliminazione vegetazione superiore e inferiore mediante trattamenti chimici).



## **DSZ 01 ELIMINAZIONE MECCANICA DI AGENTI BIODETERIOGENI DI NATURA VEGETALE (PIANTE INFERIORI E SUPERIORI)**

### APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

#### Eliminazione di microvegetali:

L'eliminazione meccanica di microvegetali dai manufatti esposti all'aperto, avviene principalmente utilizzando spazzole rigide, bisturi, spatole e, in alcuni casi, macchine microsabbiatrici (queste ultime sono tuttavia da evitarsi). Le piante inferiori, infatti, non hanno vere e proprie radici ma solo delle rizine (ife o apteri) facilmente asportabili e generalmente poco dannose per i supporti cui sono ancorate poiché scarsa è la loro penetrazione all'interno dei manufatti. In presenza di licheni crostosi, molto spessi e tenaci, la rimozione meccanica è in genere preceduta da un trattamento che prevede di stendere sul manufatto, a pennello o a spruzzo, una soluzione di ammoniaca diluita in acqua al 5%, per ottenere un ammorbidimento e un rigonfiamento del tallo che ne favorisca la successiva rimozione meccanica.

## DSZ 01 ELIMINAZIONE MECCANICA DI AGENTI BIODETERIOGENI DI NATURA VEGETALE (PIANTE INFERIORI E SUPERIORI)

Eliminazione di macrovegetali:

Gli strumenti impiegati per il taglio e lo strappo di macrovegetali o di piante superiori, infestanti sono seghe elettriche e/o manuali, forbici, accette, asce, puntoni, corde e funi, scalpelli e mazze.

Nei climi temperati, le piante che più frequentemente intaccano i manufatti architettonici sono rappresentate da specie di tipo erbaceo o cespuglioso (tra esse le: *Cynodon dactylon*, *Melica minuta*, *Parietaria officinalis*, *Capparis spinosa*, *Ceterach officinarum*, *Hedera helix*), e la loro estirpazione, per essere efficace, deve interessare anche l'apparato radicale, poiché potrebbe rigettare una nuova pianta. Questa operazione richiede la massima attenzione, in quanto le piante superiori si sviluppano soprattutto nei giunti di connessione o nelle discontinuità ove non vi è più la malta utilizzata originariamente per connettere tra loro gli elementi componenti delle strutture, oltre che nei vuoti esistenti tra suolo di fondazione e struttura muraria, quindi si rischierebbe in questi casi la rottura di parti del manufatto interessato.

In ogni caso, è bene sottolineare, che la rimozione meccanica dei vegetali infestanti avrà un effetto duraturo solo se si provvederà anche a creare condizioni che prevengano o riducano l'insorgere di nuovi attacchi biologici, intervenendo sull'umidità, la temperatura, la luce (con maggiore difficoltà) o eliminando l'apporto degli elementi di nutrizione degli organismi che si intende eliminare. Tali accorgimenti sono però difficili da applicare in situ e appare perciò più semplice ed efficace l'utilizzo associato delle tecniche di asportazione meccanica con quelle basate sull'uso di biocidi ed erbicidi specifici, a seconda che si voglia attuare un diserbo totale, temporaneo o selettivo (v. DSZ03 - Eliminazione vegetazione superiore e inferiore mediante trattamenti chimici).

### PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

Dal momento che il legno è costituito da sostanze organiche, le principali cause che ne possono determinare il degrado sono di natura biologica, e sono riconducibili all'azione di vari organismi, quali batteri, funghi, insetti ecc.

In estrema sintesi, dunque, i fattori che maggiormente influenzano il biodegradamento del legno sono due:

- la durabilità naturale della specie legnosa, definita come la sua capacità di resistere all'attacco di organismi che trovano nutrimento nei costituenti chimici della parete cellulare (cellulosa, lignina, emicellulosa) delle sue fibre o nelle sostanze di riserva delle sue cellule parenchimatiche (zuccheri, amidi);
- le condizioni ambientali (temperatura, umidità relativa e, in genere, caratteri del microclima in cui la pianta vive o l'elemento è conservato, esposizione agli agenti atmosferici, e/o al contatto accidentale con l'acqua, nei suoi diversi possibili stati – liquido, aeriforme, solido...) in cui il manufatto ligneo si trova durante il suo ciclo utile quale elemento dell'architettura.

## DSZ 02 DISINFESTAZIONE LEGNO MEDIANTE APPLICAZIONE DI BIOCIDI

Per limitare, perciò, gli effetti del degrado del legno, s'interviene spesso su di esso con trattamenti di carattere preventivo e/o curativo.

Un trattamento preventivo protegge il legno dall'insediamento e dallo sviluppo di organismi di varia natura (ad es. impedendo agli insetti di deporre le uova sulle superfici e nelle cavità interne di un manufatto, o impedendo alle spore fungine di svilupparsi insinuando le loro ife entro le fibre legnose). La durata nel tempo dell'azione protettiva dipende dal tipo di sostanza impiegata (prodotti chimici biocidi) e dalle procedure della loro applicazione (a pressione, a immersione, a spruzzo, a pennello). Ad esempio essendo il legno un materiale altamente poroso, la tecnica per immersione si presta bene alla disinfestazione preventiva da insetti xilofagi e funghi, facendo penetrare il biocida negli strati interni, per una profondità che dipende anche dal tempo d'applicazione. In questo caso, s'immerge il manufatto da disinfestare, per periodi più o meno lunghi, in un apposito recipiente nel quale il livello del prodotto biocida è fatto aumentare gradualmente fino a ricoprire del tutto l'oggetto.

Un trattamento curativo, invece, mira a distruggere gli organismi già presenti all'interno del legno, come uova, larve, insetti, micelio fungino, impedendo il progredire l'espansione della colonia da essi costituita e, di conseguenza, del danno da essi provocato con progressivo interessamento del materiale ancora sano.

Perciò, l'intervento curativo può avvenire sia utilizzando mezzi fisici (ad es. con un innalzamento della temperatura mediante insufflazione nell'ambiente d'aria calda, l'eliminazione dei fenomeni di condensa e delle infiltrazioni d'acqua nel manufatto, uso di particolari radiofrequenze o di radiazioni gamma ecc.) sia ricorrendo a mezzi chimici (gas tossici, soffocamento mediante sottrazione di ossigeno, applicazione biocida) in grado di eliminare le condizioni favorevoli all'attecchimento e alla vita dei diversi organismi biodeteriogeni. L'applicazione di biocidi per l'eliminazione di microrganismi patogeni infestanti può avvenire mediante sottovuoto, iniezione e a pressione.

### APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

I trattamenti preventivi e curativi del legno e dei manufatti lignei, danno risultati positivi solo se è possibile identificare la causa e l'agente specifico che determina i processi deteriorativi rilevati. L'esposizione a particolari condizioni microclimatiche e ambientali, soprattutto su manufatti lignei esposti all'aperto, può ad esempio facilmente innescare un attacco da funghi.

#### Fasi operative della disinfestazione

Prima della disinfestazione, in ogni caso, è necessaria un'accurata pulizia del manufatto per ottenere una migliore efficacia del trattamento. Tale pulitura può essere effettuata semplicemente tramite spazzolatura o tramite impacchi con solventi neutri, per eliminare polveri e depositi. Si può quindi procedere all'applicazione del prodotto biocida, sul legno pulito e asciutto. Con l'applicazione a pennello, l'insetticida penetra solo a livello superficiale, e per garantire il completo annientamento degli insetti, si deve più volte ripetere l'applicazione fino a completo rifiuto da parte del manufatto trattato. In alcuni casi, in presenza di infestazioni estese e superficiali, può essere opportuno procedere al raschiamento della zona superficiale ammalorata, prima della distribuzione a pennello dell'insetticida.

La stesura di un prodotto disinfestante a pennello non richiede l'impiego di manodopera specializzata, mentre l'applicazione a spruzzo richiede maggiore attenzione, soprattutto nel caso in cui si operi su superfici decorate.

La resa del prodotto è assai variabile e dipende sia dall'impregnabilità del legno trattato, sia dal tipo di superficie su cui si esegue il trattamento.

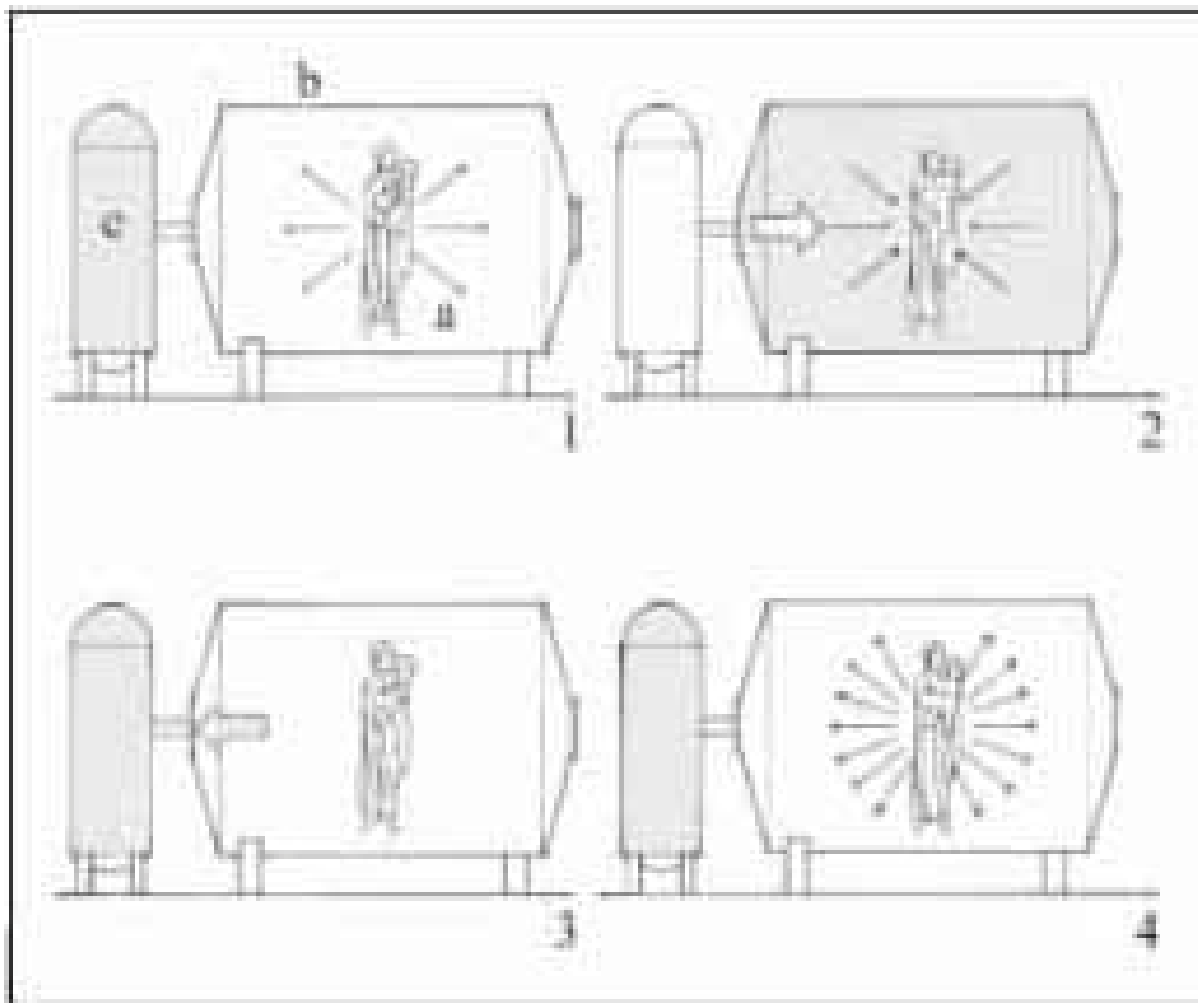


Figura 1 • Sistemi a “cellula piena”:

- 1) il manufatto ligneo (a) è introdotto in un'autoclave (b) in cui si pratica il vuoto;
- 2) s'introduce all'interno dell'autoclave il biocida (c);
- 3) a impregnazione avvenuta, il prodotto disinfestante contenuto nell'autoclave è fatto defluire nuovamente nel suo serbatoio;
- 4) si crea nuovamente il vuoto, più spinto rispetto alla prima fase, per rimuovere gli eccessi di biocida.

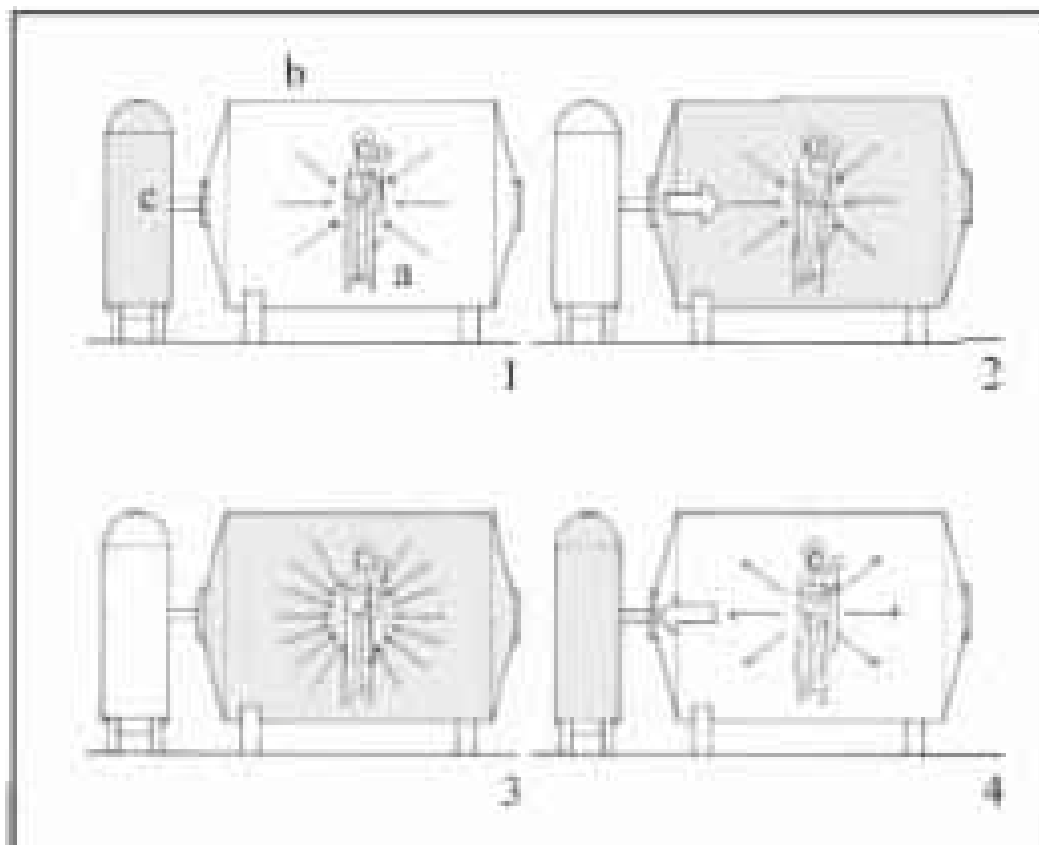


Figura 2 • Sistemi a “cella vuota”:

- 1) il manufatto ligneo (a) è introdotto in un'autoclave (b), all'interno della quale è applicata una sovrappressione di non più di 4 atm. Tale pressione è mantenuta per circa trenta minuti;
- 2) sempre mantenendo questo livello di sovrappressione si introduce nell'autoclave il biocida (c);
- 3) la pressione è aumentata sino a circa 10-14 atm, in modo da spingere all'interno del legno il prodotto disinfestante;
- 4) la pressione è diminuita, l'autoclave è svuotata del fluido disinfestante e si crea quindi il vuoto che fa uscire dal legno circa la metà del biocida penetrato nelle fibre. Le pareti delle cellule restano rivestite di un sottile film di biocida.

### PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

Qualsiasi manufatto esposto all'aperto è sottoposto a diverse azioni aggressive e, in particolare:

- all'azione dei fattori climatici (pioggia, irraggiamento solare, vento, cicli di gelo e disgelo ecc.);
- all'azione corrosiva esercitata dai prodotti acidi inquinanti presenti nell'atmosfera;
- all'azione dei processi di trasformazione indotti da meccanismi di tipo biologico, quali il metabolismo di micro e macroorganismi vegetali insediatisi.

La combinazione di tali fattori porta, nel tempo: all'aumento della porosità del materiale costitutivo dei manufatti, cui spesso si associa una riduzione delle sue caratteristiche di resistenza meccanica, a un accumulo progressivo di particolato atmosferico e alla connessa formazione di incrostazioni sulle sue superfici esterne e, infine, all'insediamento e alla crescita di alcuni vegetali (talli, radici, fusto) che possono provocare alterazioni dovute sia a stress meccanici sia alle trasformazioni chimico-fisiche che la vita degli organismi determina.

Per questo, è importante, prima di qualsiasi intervento, valutare lo stato di degrado del manufatto, identificare la specie di agenti biodeteriogeni responsabili del processo di alterazione e ricercare le cause che ne hanno favorito lo sviluppo. Nel caso di vegetazione superiore è necessario eseguire una specifica e accurata indagine di tipo floristico e fitologico, per distinguere tra le specie che infestano un manufatto, quelle effettivamente dannose da quelle pur sempre compatibili con la sua conservazione e accertarne, quindi, la pericolosità per i diversi substrati e le diverse componenti costruttive interessate dalla loro aggressione.



## DSZ 03 DISINFESTAZIONE DI VEGETAZIONE SUPERIORE E INFERIORE CON TRATTAMENTI CHIMICI

Per impedire ed eliminare la crescita spontanea di piante superiori (erbacee, arbustive e legnose) sui manufatti architettonici e al loro interno, si può intervenire, secondo i singoli e specifici casi, ricorrendo all'estirpazione meccanica (v. DSZ01 - Eliminazione meccanica di agenti biodeteriogeni di natura vegetale, piante inferiori e superiori), a opportuni trattamenti biocidi oppure ancora, variamente combinando tra loro i due sistemi. In genere, il trattamento biocida è preferibile, rispetto a quello meccanico, in quanto l'azione specifica di un prodotto chimico è di maggiore efficacia e di minore rischio per il substrato, anche se la sua applicazione può richiedere tempi maggiori, manodopera specializzata e specifiche cautele a tutela dell'ambiente e degli operatori. Spesso, infatti, soprattutto se si devono eliminare piante legnose (ad es. le piante di edera e di olmo), l'estirpazione meccanica può compromettere l'integrità di un manufatto (per le sollecitazioni che tale intervento inevitabilmente esercita sul manufatto stesso), mentre l'applicazione di un diserbante facilita l'asportazione ed elimina la possibilità di nuovi getti dalle radici eventualmente rimaste in loco.

L'eliminazione della vegetazione inferiore comprende, oltre ai metodi meccanici e chimici, anche quelli fisici (v. DSZ04 - Sistemi fisici e indiretti per l'eliminazione di agenti biodeteriogeni). Il metodo chimico si basa sull'impiego sia di prodotti di sintesi (biocidi) che di prodotti d'origine biologica (antibiotici). I biocidi eliminano gli organismi agendo per contatto, bloccando, ad esempio nei vegetali, la fotosintesi, o per assimilazione, e hanno ciascuno uno specifico spettro d'azione, più o meno ampio, secondo il tipo di principio attivo utilizzato.

Gli antibiotici, invece, agiscono specificatamente su un singolo e particolare gruppo di organismi (funghi, batteri e attinomiceti). È pertanto indispensabile conoscere le caratteristiche dell'organismo bersaglio, per scegliere il prodotto più idoneo alla sua eliminazione.

### APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

Metodi di applicazione dei biocidi per l'eliminazione di vegetazione superiore

Le procedure di applicazione dei prodotti biocidi per l'eliminazione della vegetazione superiore sono diverse e comprendono essenzialmente:

a) l'irrorazione o trattamento a spruzzo, b) l'iniezione, c) l'impacco e d) lo spargimento di granuli.

Metodi di applicazione dei biocidi per l'eliminazione di vegetazione inferiore

I microrganismi coinvolti nel degrado di manufatti architettonici si distinguono generalmente in microrganismi autotrofi e in microrganismi eterotrofi.

Le fasi preliminari per qualsiasi tipo di intervento per l'eliminazione della vegetazione inferiore prevedono:

— l'identificazione degli agenti responsabili del degrado, attraverso prelievi di campioni da analizzare in laboratorio;

— l'analisi delle cause che hanno favorito lo sviluppo della vegetazione; in genere, fondamentali per la crescita di organismi indesiderati, sono i fattori ambientali come la luce, l'umidità, la temperatura e i prodotti di nutrizione.



Figura 1 • Dopo l'applicazione di prodotto biocida l'operatore procede con l'estirpazione manuale della vegetazione infestante.



Figura 2 • Applicazione a spruzzo del liquido disinfestante.



Figura 3 • Impacco in polpa di carta impregnata di biocida.



Figura 4 • Patina biologica dopo l'applicazione del disinfestante.



Figura 5 • Eliminazione della patina biologica secca, mediante spazzolatura.



Figura 6 • Risultato parziale della disinfestazione.



### PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

La crescita e lo sviluppo di agenti biodeteriogeni sui manufatti architettonici dipende da vari fattori tra i quali, anzitutto, la presenza di alte concentrazioni di umidità, i valori della temperatura, la luce, la composizione dei materiali e l'inquinamento atmosferico.

— La quantità di umidità o di acqua contenuta nei materiali, nei suoi diversi possibili stati, incide notevolmente sulla germinazione dei semi e delle spore vegetali, sull'impianto di funghi e batteri e sulla crescita delle larve e degli insetti. L'intervallo dei valori dell'umidità relativa entro cui è possibile o è favorito lo sviluppo della maggior parte degli organismi viventi, va dal 70 al 100%. Importante è anche la durata del periodo in cui si registra il permanere di un elevato tasso di umidità, dal momento che l'acqua ha bisogno di un certo tempo per essere assorbita dai materiali e permettere, di conseguenza, la germinazione degli organi riproduttivi e l'insediamento delle diverse forme viventi.

— Temperature elevate, a loro volta, possono favorire e incrementare la crescita biologica di molti micro e macroorganismi, in quanto velocizzano le reazioni chimiche che caratterizzano i loro processi vitali. Valori compresi tra i 15 e i 28 °C sono ideali per la germinazione dei semi e delle spore; una temperatura costante ed elevata (intorno ai 22-25 °C), prolungata per un certo intervallo di tempo, favorisce inoltre la schiusa delle uova di alcune specie di insetti.

— Tutti gli organismi fotosintetici, quali sono ad esempio i muschi, i licheni, le alghe, ma anche molti organismi animali, per vivere hanno bisogno della luce, e ciascuna specie si sviluppa in habitat specifici, anche in funzione del tipo di frequenza della radiazione luminosa, del grado della sua intensità e della sua durata nel tempo.

## **DSZ04 SISTEMI FISICI E INDIRECTI PER L'ELIMINAZIONE DI AGENTI BIODETERIOGENI**

— Il pH, ossia il grado di acidità, proprio del substrato può a sua volta favorire la crescita preferenziale di certi gruppi di agenti biodeteriogeni rispetto ad altri, poiché gli organismi possono essere acidofili, basofili o neutrofilo. I funghi e i muschi, ad esempio, si sviluppano più facilmente in ambienti leggermente acidi (pH pari a 5,4-6,8), mentre le alghe preferiscono un ambiente leggermente alcalino (pH pari a 7,5-8,5) e i batteri o i licheni hanno, invece, un ampio spettro di adattamento in dipendenza della singola specie.

Per queste ragioni, ogni sistema di natura fisica e di tipo indiretto volto all'eliminazione di agenti biodeteriogeni, fa ricorso a metodi legati alla variazione dei fattori brevemente richiamati, prevedendo, ad esempio, l'eliminazione o la riduzione delle fonti di illuminazione che agiscono sul materiale e sul manufatto da disinfestare, allontanando le acque che, in diversa forma e in diversi stati, lo raggiungono, oppure controllando e modificando l'atmosfera che lo circonda. I parametri sinteticamente evidenziati, tuttavia, sono spesso difficilmente modificabili e se è possibile, ad esempio, modificare e controllare le condizioni di un ambiente confinato, è assai più arduo, se non impossibile, agire sulle condizioni ambientali di un manufatto esposto all'aperto.

L'impiego di atmosfere modificate rappresenta un'ottima tecnica per la disinfestazione di manufatti cartacei, lignei ed organici in generale. Operativamente, il manufatto da trattare viene confinato in un ambiente chiuso e limitato nel quale si provvede a modificare la composizione dell'aria, sostituendo l'ossigeno con azoto, biossido di carbonio o argon.

L'atmosfera così modificata non è più adatta alla vita di insetti e microrganismi infestanti.

Poiché molti manufatti realizzati con materiali di origine biologica, come il legno o la carta, possono subire danni ingenti da un'esposizione a un ambiente in cui la temperatura sia troppo alta o il tenore di umidità relativa troppo basso, occorre che tali parametri non subiscano brusche variazioni durante il trattamento. Gli insetti, d'altra parte, mostrano differenti capacità di resistenza in atmosfere a basso contenuto d'ossigeno, in ragione anche delle specie e degli stadi di sviluppo in cui si trovano (generalmente le larve e le uova sembrano, ad es., più resistenti degli insetti adulti).

È stato inoltre rilevato che, in un'atmosfera con un contenuto d'ossigeno pari al 3%, la mortalità di varie specie di insetti è piuttosto bassa, mentre si alza decisamente quando tale valore si riduce all'1%. I risultati migliori sono stati ottenuti, in presenza di tenori d'ossigeno inferiori allo 0,1%. Se si intendono ridurre i tempi d'esposizione dei manufatti nelle atmosfere così modificate, o quando non si è in grado di raggiungere o mantenere i bassi livelli richiesti di ossigeno, è possibile variare gli altri due parametri ambientali in gioco, e cioè la temperatura e l'umidità relativa. L'aumento di temperatura, così come la diminuzione dell'umidità relativa dell'atmosfera, aumentano il tasso di mortalità degli insetti. Gli intervalli entro cui questi parametri possono variare, senza causare danni ai manufatti, non sono tuttavia amplissimi. Si ritiene, ad esempio, che la temperatura alla quale un manufatto artistico può essere esposto anche per un periodo prolungato di tempo, senza conseguenze per la sua conservazione, possa variare tra i 30 e i 35 °C, mentre l'umidità relativa può essere compresa tra il 35% e il 70%.

### APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

#### Metodi fisici indiretti

Come accennato, la crescita e lo sviluppo di agenti biodeteriogeni sui manufatti dipende da diversi fattori, e perciò è possibile bloccare la crescita e, in alcuni casi, eliminare definitivamente l'organismo bersaglio responsabile dell'infestazione.

Si può perciò intervenire a tal fine: 1) eliminando le fonti di illuminazione del manufatto infestato; 2) deumidificando l'ambiente o il manufatto; 3) modificando l'atmosfera con gas inerti; 4) impiegando il calore.

1) La maggior parte degli agenti infestanti di natura biologica (alghe, licheni e muschi), per vivere e svilupparsi, hanno bisogno di un certo livello di radiazione luminosa. La loro eliminazione, perciò, può essere ottenuta avvolgendo il manufatto interessato con teli impermeabili alla luce o rivestendolo con impacchi schermanti, per un tempo variabile in funzione della specie di organismi da eliminare e dell'intensità del loro sviluppo. Questo tipo d'intervento è possibile sia su manufatti conservati all'interno di ambienti confinati sia manufatti esposti all'aperto, purché siano generalmente di ridotte dimensioni.

2) È analogamente difficile agire sull'umidità che in varie forme e per diverse ragioni è presente nei manufatti da disinfestare, in quanto sarebbe necessario crearli un ambiente confinato e controllabile, agendo anzitutto con un aumento della temperatura e con sistemi di abbassamento del tasso di umidità mediante apparecchi deumidificatori. Per questa ragione, ogni azione tesa a sottrarre umidità dai manufatti aggrediti da organismi deterioranti può essere attuata solo se questi possono essere trasportati e posti in ambienti asciutti e ventilati, fino a quando i microrganismi responsabili dell'attacco non siano completamente seccati e possano, di conseguenza, essere asportati, ad esempio, con mezzi meccanici (v. DSZ01 - Eliminazione meccanica di agenti biodeteriogeni di natura vegetale, piante inferiori e superiori). La crescita di molte specie di agenti biodeteriogeni insediati su manufatti esposti all'esterno può, in ogni caso, essere sensibilmente rallentata e ostacolata anche da una corretta pulizia delle parti interessate, poiché l'asportazione di depositi di varia natura sottrae loro le sostanze nutritive necessarie alla crescita, soprattutto se si tratta di microrganismi, di natura eterotrofa, il cui metabolismo dipende appunto dall'assunzione di sostanze dall'ambiente esterno e, in primo luogo, dal substrato cui sono ancorati.

L'efficacia della pulizia può inoltre essere migliorata dall'eventuale contemporanea stuccatura e sigillatura di lacune, fratture e cretture presenti sul manufatto, poiché in ogni sua discontinuità si accumulano facilmente il particolato atmosferico e altri depositi che, a loro volta, favoriscono l'insediamento, la germinazione dei semi e il proliferare di altre forme di vita parassitaria.

3) L'applicazione dell'atmosfera modificata consiste nel porre l'elemento infestato in involucri stagni realizzati su misura con materiali plastici a barriera di gas, in cui l'ossigeno viene sostituito con gas inerti come l'azoto, il biossido di carbonio e l'argon.

4) Il calore, secco o umido, è impiegato nelle disinfestazioni di materiali organici. In particolare il trattamento con calore umido cioè con una temperatura di 95 °C e un'umidità relativa del 40%, prolungato per quattro ore è una delle tecniche più largamente utilizzate per il trattamento di manufatti cartacei.

### Metodi fisici diretti

- 1) Raggi ultravioletti (UV). I raggi ultravioletti sono usati specialmente contro batteri, alghe e funghi.
- 2) Raggi gamma. Sono largamente utilizzati per la disinfestazione della microflora e l'uccisione di insetti, specialmente su materiali organici come carta, pergamena e legno.
- 3) Elettricità. La tecnica si basa sul fatto che si può indurre la morte degli insetti per scossa elettrica. A tal fine è stata brevettata un'elettropistola che emette elettricità ad alta frequenza (6.000 Hertz) e ad alto voltaggio (> 90000 Volt), poiché deve superare la resistenza del legno al flusso della corrente elettrica, ma ad intensità < 0,5 Amper. La corrente applicata con questo dispositivo fluisce nelle gallerie e uccide gli insetti attraversando i loro corpi. Questo accade perché la corrente elettrica trova meno resistenza nell'aria umida delle gallerie e dei corpi degli insetti.

### PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

La fumigazione con gas tossici appartiene al gruppo delle tecniche di disinfestazione che sfruttano mezzi chimici. Con essa si colpiscono i coleotteri e gli isotteri saprofiti del legno in tutti gli stadi vitali (larva, baco, pupa, insetto adulto). Essa sfrutta l'effetto tossico che alcune sostanze – bromuro di metile, acido cianidrico, anidride solforosa, ossido di etilene, fluoruro solforico – possiedono nei confronti degli insetti, se insufflate (o assorbite da un supporto) allo stato gassoso in vani ermeticamente chiusi – e in alcuni casi sottoposti a un vuoto molto spinto – contenenti il legno infestato.

L'insufflazione di una delle sostanze citate causa il soffocamento di coleotteri e isotteri e la loro sterilità. L'efficacia del metodo dipende dalla quantità di legno da disinfestare, dalla quantità di sostanza insufflata e dalla durata della permanenza del legno nella "camera a gas".

La fumigazione non lascia alcun deposito tossico e i gas utilizzati sono resi innocui per la salute tramite un filtraggio successivo all'evacuazione. Questa tecnica non protegge da successive, nuove infestazioni, quindi è necessario ripetere periodicamente un trattamento antitarlo nelle stagioni di massima attività infestante (primavera e autunno).

### APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

Esistono due varianti, analoghe nei principi di funzionamento, di questa tecnica, la scelta delle quali dipende esclusivamente dalle dimensioni e dal numero di oggetti da risanare.

1) Se gli oggetti sono di piccole dimensioni e occupano complessivamente uno spazio tra i 10 e i 30 m<sup>3</sup>, li si colloca in un'autoclave stagna in materiale plastico, si crea all'interno un vuoto molto spinto (di 0,5 bar) e s'inserisce, tramite un tubo, del bromuro di metile alla temperatura di circa 20°C (in inverno il gas deve essere riscaldato fino a raggiungere questa temperatura) nella dose di 40-50 g per ogni metro cubo di capacità dell'autoclave.

La fumigazione dura dalle tre ore e mezzo alle cinque ore. Dopo il trattamento, i gas, che potenzialmente sono molto tossici, sono estratti dall'autoclave, filtrati con dei carboni e immessi nell'atmosfera.

2) Se gli oggetti sono troppo grandi o troppo numerosi e si è valutata la non convenienza economica di molte applicazioni in autoclave, si può impregnare un supporto di acido cianidrico nella dose di 12-15 g per metro cubo di capacità dell'ambiente, e si lascia evaporare nell'ambiente ermeticamente chiuso per circa 48 ore a pressione atmosferica.

I dosaggi e i tempi sono quelli normalmente impiegati dalle ditte specializzate per effettuare trattamenti efficaci nell'uccisione dei tarli in ogni stadio vitale.





Figura 1 • Camera di fumigazione portatile.

### PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

Negli ambienti di vita e in quelli destinati alla conservazione di beni storico artistici, la presenza di insetti parassiti, come tarli, camole, blatte ecc. che possono provocare danni anche gravi soprattutto ai manufatti realizzati con materiali di origine organica, come il legno, la carta o i tessuti, ha reso necessario mettere a punto sistemi di allontanamento o di distruzione dei parassiti. Il principio su cui si basano questi sistemi è semplice: si tratta, letteralmente, di predisporre delle trappole, che possono prevedere anche l'impiego di sostanze- esca, in grado di catturare i parassiti, rendendoli innocui oppure uccidendoli. Le trappole sono collocate all'interno degli ambienti potenzialmente o già infestati, in posizioni adatte ad intercettare i parassiti da eliminare. Una variante estremamente efficace di questa tecnica prevede l'utilizzo di ferormoni quale esca per i parassiti (vedi infra, sezione Accorgimenti, varianti e limiti).

### APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

Esistono diversi tipi di trappole e la loro attrattiva può essere aumentata con l'aggiunta di un'esca, alimentare o a base di ferormoni. Tra i tipi più comuni e diffusi vi sono:

1) Le trappole di "inciampo". Le più semplici sono costituite da piccole strisce di cartone (60 x 200 mm circa) la cui faccia superiore è impregnata di colla (generalmente a base di polibutilene). Esse vanno per lo più poste tra la parete e il pavimento dell'ambiente da disinfestare, ove più facilmente si annidano i parassiti dei tappeti e delle pellicce, i quali, durante i loro movimenti possono incappare nelle trappole ed essere catturati dalla colla che le ricopre. Con questo genere di trappole è possibile catturare ogni specie d'insetti non volatori e, di conseguenza, si può facilmente avere un quadro preciso delle varietà infestanti presenti nell'ambiente trattato. Il limite di questi sistemi di cattura sta tuttavia nel rapido decadimento dell'efficacia della striscia adesiva, per progressiva e rapida essiccazione, e nel rischio che gli utenti calpestino le fasce collanti.

2) Le trappole a colla costituiscono una variante delle trappole di "inciampo" e possono essere provviste di tettuccio protettivo, che impedisce che polvere o frammenti di sporcizia cadano sulla parte adesiva rendendola inutilizzabile; il tettuccio, inoltre, protegge gli utenti da contatti involontari.

3) Le trappole a finestra. Sono costituite anch'esse da una striscia adesiva protetta da una specie di coperchio in cui è aperta una finestra; esse lavorano con i ferormoni o con combinazioni di ferormoni ed esche a base di cibo. La finestra permette un migliore e più veloce controllo visivo di tutta la striscia appiccicosa, consente di capire la quantità di insetti catturati senza che la trappola debba essere rimossa, aperta o in qualsiasi modo danneggiata.

4) Le trappole a graticola. Sono costituite da una specie di portalampada, munito di una sorgente di luce U.V. o a fluorescenza, protetta da un graticcio ad alto o a basso voltaggio e sono impiegate contro gli insetti volatori. Gli insetti, attratti dalla fonte luminosa, sono intercettati dalla griglia elettrificata che ne provoca la morte; i residui si raccolgono in un vassoio posto sotto alla griglia e possono essere agevolmente e periodicamente rimossi. L'uso delle trappole con lampade U.V. può creare qualche inconveniente, poiché questo tipo di luce può provocare reazioni fotochimiche nelle opere d'arte e formare ozono dall'ossigeno dell'aria, che provoca imbianchimenti. Inoltre, può capitare che alcune carcasse cadano al di fuori del vassoio e macchino i manufatti conservati negli ambienti sottoposti al trattamento; i resti degli insetti morti, poi, possono servire come fonte aggiuntiva di nutrimento soprattutto per i parassiti dei tappeti, contribuendo al prosperare di altre specie di parassiti. Non si può neppure tacere l'impatto per certi aspetti sgradevole che l'installazione di simili dispositivi generalmente ha sugli utenti degli spazi con essi difesi.

5) Le trappole a imbuto. Si tratta genericamente di recipienti di varie fogge e dimensioni riempiti con una soluzione nutritiva fluida attraente, ossia di trappole essenzialmente efficaci contro gli insetti volatori. Gli insetti volano o scivolano nel recipiente – dotato di un'apertura imbutiforme – per suggerire il nutrimento in esso contenuto e, non riuscendo più ad uscirne a causa della forma dell'apertura, annegano nella soluzione. Gli imbuto presentano spesso, oltre alla particolare forma che rende difficile la fuoriuscita degli insetti, un colore e/o un disegno che funziona come esca, grazie a diversi meccanismi che agiscono sul loro comportamento.

Particolare cura, inoltre, deve essere posta nella scelta e nella disposizione di queste trappole nell'ambiente, a tutela della salute e dell'incolumità delle persone. Esse, infatti, prevedono spesso l'uso di una fiamma libera, di una lenta combustione diretta o di una resistenza elettrica variamente alimentata (anche direttamente dalla rete) per produrre il calore necessario alla volatilizzazione della sostanza.