

I macro e i microambienti



I musei tradizionalmente si sono sviluppati basandosi sul concetto di conservazione, studio e presentazione delle loro collezioni permanenti. Negli ultimi 25 anni tuttavia i musei si sono sempre più caratterizzati per i loro programmi di esposizioni temporanee.

Una nuova generazione di direttori (come anche di critici e visitatori) ritiene comunque che le collezioni permanenti debbano continuare a essere il cuore e l'anima delle istituzioni. Tutto ciò comporta anche l'adozione di nuovi protocolli di gestione del museo e di più rigorose strategie di conservazione.

La recente pubblicazione del "Codice dei beni culturali e del paesaggio", Decreto Legislativo 42/2004, ha sancito il concetto e l'obbligo di prevenzione e manutenzione, nonché di restauro, alla Sezione II, Misure di conservazione, articolo 29 "Conservazione", recitando:

"1. La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro;

2. Per prevenzione si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto;

3. Per manutenzione si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti;

4. Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali."

E ancora all'articolo 30 "Obblighi conservativi":

"1. Lo Stato, le regioni, gli altri enti pubblici territoriali nonché ogni altro ente ed istituto pubblico hanno l'obbligo di garantire la sicurezza e la conservazione dei beni culturali di loro appartenenza.

2. I soggetti indicati al comma 1 e le persone giuridiche private senza fine di lucro fissano i beni culturali di loro appartenenza, ad eccezione degli archivi correnti, nel luogo di loro destinazione nel modo indicato dal soprintendente.

3. I privati proprietari, possessori o detentori di beni culturali sono tenuti a garantirne la conservazione.

4. I soggetti indicati al comma 1 hanno l'obbligo di conservare i propri archivi nella loro organicità e di ordinarli, nonché di inventariare i propri archivi storici, costituiti dai documenti relativi agli affari esauriti da oltre quaranta anni."

Questi recenti dispositivi di legge fanno seguito a documenti internazionali come il "Codice di deontologia dell'ICOM per i musei", adottato nel 1986 e aggiornato a Barcellona nel 2001, che all'art. 6.3 "Conservazione delle collezioni" sottolinea: *"Uno degli obblighi deontologici essenziali di ogni professionista museale è garantire un'adeguata tutela e conservazione delle collezioni e dei singoli oggetti di cui l'istituzione è responsabile. Lo scopo è*

garantire, per quanto possibile, che le collezioni siano trasmesse alle generazioni future nelle condizioni migliori e più sicure sulla base delle cognizioni e delle risorse attuali. Il riconoscimento e il rispetto dell'integrità e dell'autenticità culturale e fisica di ciascun oggetto, esemplare o collezione, rappresentano un valore fondamentale dell'opera di conservazione.

Tutti i professionisti museali cui sono affidati oggetti ed esemplari devono fare in modo di creare e mantenere un ambiente atto a proteggere le collezioni, siano esse in deposito, in esposizione o in corso di trasporto. Tale conservazione preventiva costituisce un fattore importante nella gestione dei rischi di un museo. Le condizioni di un oggetto o di un esemplare possono richiedere interventi di conservazione e l'opera di uno specialista. Che si tratti di restauro o di manutenzione, l'obiettivo principale deve essere quello di stabilizzare l'oggetto o l'esemplare".

5.1 COLLEZIONI PERMANENTI, ARCHIVI E DEPOSITI

Gli oggetti, i materiali, i manufatti presenti negli ambienti museali, negli archivi o nei depositi debbono quindi essere assolutamente protetti dai rapidi meccanismi di deterioramento che aumentano di pari passo alla crescita della fruizione degli spazi museali da parte dei visitatori. Allo stesso tempo, come abbiamo già visto, l'aumento delle sostanze disperse in atmosfera e il conseguente peggioramento della qualità dell'aria negli ambienti interni stanno accelerando i processi di invecchiamento dei materiali. Questi due fenomeni, l'uno per certi aspetti positivo, l'altro categoricamente negativo, sono destinati ad aumentare.

Gran parte dei problemi di conservazione deriva dalla non idoneità degli edifici e degli ambienti adibiti a museo, ad archivi e ad altre funzioni accessorie [5,6,29].

Possiamo genericamente suddividere gli edifici che accolgono musei e archivi in tre categorie:

- Edifici costruiti ad hoc dotati di impianti di climatizzazione
- Edifici costruiti ad hoc privi di impianti di climatizzazione
- Edifici o locali destinati ad altri usi e adattati successivamente.

Nell'ambito di ciascuno di essi vi sono ambienti con diverse destinazioni d'uso:

- sale espositive

- depositi
- sale di consultazione e studio
- uffici.

Queste tipologie, unitamente ad altre problematiche, quali le condizioni microclimatiche, gli arredi, le attività che si svolgono nei locali, lo stato di conservazione dei materiali, gli agenti chimici e biologici che li degradano, devono essere valutate e tenute in considerazione (fig. 5.1 a, b, c).

Solo una piccola percentuale di musei e archivi si trova in *edifici costruiti ad hoc e dotati di impianti di climatizzazione* nei quali esistono impianti per il controllo dei parametri termoigrometrici e per la filtrazione dell'aria. In essi, se esiste una corretta regolazione di tali parametri, il rischio di processi di degradazione fisica, chimica e biologica è molto ridotto [8,9,11,12]. Il maggior problema da superare è la realizzazione di un buon progetto di climatizzazione e di allestimento, eseguito da professionisti provvisti di documentabile esperienza nel settore museale. Purtroppo ciò non avviene regolarmente: al contrario

assistiamo spesso alla realizzazione di progetti elaborati sulla base di criteri ed esperienze derivanti da altri settori di impiego come la climatizzazione e l'impiantistica degli edifici pubblici (uffici, scuole) o privati (abitazioni, luoghi di lavoro). Questa situazione è piuttosto diffusa nell'ambiente delle amministrazioni pubbliche che normalmente seguono procedure consolidate nel tempo e applicate indiscriminatamente a tipologie differenti di destinazione d'uso degli edifici e degli ambienti. Le eccezioni esistono ma il difficile rapporto con gli uffici tecnici delle amministrazioni pubbliche continua a produrre soluzioni spesso inadeguate per la corretta conservazione dei beni.

La maggior parte delle collezioni è conservata in *edifici senza climatizzazione costruiti ad hoc* in epoche diverse, con criteri diversi e nei quali si ha una vasta gamma di microclimi. Si va dalle col-





lezioni più antiche, ubicate in edifici monumentali, a quelle ottocentesche con muri spessi e strutture portanti, infissi e arredi lignei, a quelle del primo e secondo Novecento, che si trovano in edifici in cemento armato sovente con ampie vetrate. Nell'ambito della stessa costruzione si ha una varietà di situazioni a seconda dell'ubicazione degli ambienti (interrati, seminterrati, piani intermedi, sottotetti), della loro esposizione, della presenza o meno di finestre, dell'uso a cui sono destinati (magazzini, sale di studio, uffici ecc.) ed infine dello stato di conservazione del materiale.

Fig 5.1

a) Allestimento storico realizzato in struttura d'epoca (Collezioni Comunali, Bologna).

b) Allestimento moderno realizzato in struttura d'epoca (Musei di San Domenico, Forlì).

c) Allestimento moderno realizzato in struttura moderna (Mart - Museo d'arte moderna, Rovereto).

Il microclima dei singoli ambienti ha ovviamente un diverso andamento nel corso dell'anno, a seconda che essi siano dotati o meno di impianti di termoventilazione o riscaldamento [14]. Nel primo caso esso subisce l'influenza del clima esterno soprattutto nel periodo primaverile-estivo, mentre nel secondo caso tale influenza si fa sentire nell'arco di tutto l'anno ed è strettamente correlata all'alternanza delle stagioni che causano escursioni termoisometriche notevoli. Ad esempio nei depositi che si trovano in località con clima semicontinentale, come le località della pianura padana, durante l'inverno si hanno spesso minimi termici prossimi allo zero e nel periodo estivo massimi intorno ai 40°C.

Negli edifici privi di impianto di climatizzazione, nei quali viene immessa aria non filtrata, altri due fattori esercitano, come abbiamo già visto, la loro influenza sulla conservazione dei materiali: l'inquinamento chimico e quello biologico. Sia il primo che il secondo differiscono, dal punto di vista quantitativo e qualitativo, in rapporto all'ubicazione del museo. Ad esempio la maggiore o minore industrializzazione o urbanizzazione della zona in cui si trovano, la vicinanza del mare o di parchi determinano la prevalenza di alcune componenti chimiche o biologiche [13].

Se il numero di collezioni e archivi che si trovano in edifici costruiti ad hoc è elevato, non è esiguo quello dei musei, anche di recente costituzione, che si trovano in *edifici che sono stati progettati per altre destinazioni* (conventi, scuole, abitazioni ecc.). Spesso per carenza di spazio vengono utilizzati gli ambienti più disparati e meno idonei (umidi, privi di aerazione, ecc.).

In ambienti di questo tipo si hanno le condizioni climatiche più varie, non facilmente schematizzabili e che comunque di frequente favoriscono il deterioramento dei materiali.

Determinate situazioni microclimatiche che si verificano nelle tipologie di edifici costruiti ad hoc possono favorire o causare processi di degradazione. Condizioni di secchezza dell'aria o escursioni termigrometriche sensibili e frequenti, dovute a errata regolazione degli impianti o a errori di progettazione, determinano certamente danni al materiale conservato ancor più della situazione di assenza di sistema di climatizzazione.

Gli effetti di danno dovuti alla quantità di materiale presente negli ambienti sia di esposizione ma soprattutto di deposito non sono da sottovalutare. Tanto maggiore è ad esempio la massa di libri e documenti e la loro compattezza, tanto più lungo è il tempo che essi impiegano per entrare in equilibrio con l'ambiente.

L'igroscopicità dei singoli materiali (carta, cartone, pergamena, cuoio, tela, adesivi, polimeri sintetici, ecc.) varia da oggetto a oggetto e, a parità di livelli igrometrici, varia con la temperatura [23].

Situazioni di alto rischio, dal punto di vista dei danni a materiali di natura organica, si possono verificare in ambienti di edifici sia antichi che moderni se sono presenti particolari condizioni quali ad esempio la risalita capillare di acqua che determina umidità relative elevate (superiori al 70-75%) nell'arco dell'intero anno o per periodi prolungati. La situazione in questi ambienti diviene particolarmente critica nel corso della primavera-estate quando la temperatura supera i 16-20°C e si ha quindi un clima caldo umido. Anche la scarsa aerazione degli ambienti, che può favorire fenomeni di condensa sulle superfici fredde o la formazione di sacche d'aria nelle quali l'umidità è elevata, costituisce un rischio frequente negli edifici di recente costruzione o ristrutturazione. Infine anche l'interruzione del funzionamento di impianti di deumidificazione, termoventilazione o climatizzazione, o eventi eccezionali quali inondazioni, infiltrazioni di acqua nelle pareti, soffitti, pavimenti o rottura di impianti idraulici, termici, fognari debbono essere considerati importanti cause di danno da tenere presenti nelle procedure di conservazione preventiva.

Nei musei e molto spesso nell'ambito dello stesso museo, diverse sono le tipologie degli ambienti di conservazione ed esposizione.



Questi possono essere infatti di ampie dimensioni con notevoli altezze su di un unico livello, o di dimensioni più ridotte disposte su vari livelli, o costituiti da un unico grande ambiente o da spazi estremamente piccoli. In generale troviamo situazioni miste e comunque una diversità di situazioni secondo l'esposizione e l'uso a cui sono destinati gli ambienti quali depositi, aree per esposizioni permanenti, aree per esposizioni temporanee, biblioteca, sale didattiche e laboratori. Il microclima nei diversi ambienti museali può variare pertanto notevolmente in relazione alla loro disposizione, numero, ampiezza ed uso, alla presenza o assenza di finestre, di impianti di riscaldamento, condizionamento o climatizzazione, al tipo di illuminazione e infine all'afflusso dei visitatori [8,10].

I depositi, luoghi dove vengono collocate le opere per lo più per mancanza di spazi espositivi, sono spesso situati in interrati, seminterrati o sottotetti dove l'aerazione è scarsa, e, quando presenti, vi sono soltanto impianti di riscaldamento invernale.

Negli ambienti deputati all'esposizione permanente e temporanea troviamo differenti situazioni microclimatiche, strettamente legate alla presenza o assenza di finestre o vetrate, ai diversi tipi di sorgenti luminose e alla presenza o assenza di tutti quegli impianti che permettono un controllo dei parametri ambientali. Le finestre, quando sono presenti, possono essere sigillate o quando non lo sono vengono aperte per periodi variabili. In quest'ultimo caso, scambiando con l'esterno, l'andamento termoigrometrico interno subisce notevoli variazioni e nel caso di microclima controllato da macchine per la climatizzazione, consumi eccessivi di energia.

Anche la presenza di impianti di illuminazione artificiale determina, come abbiamo visto, variazioni sensibili dell'andamento termoigrometrico e in particolare aumenti della temperatura nelle zone circostanti le fonti luminose. Molto spesso l'illuminazione è mista, artificiale e naturale e si possono verificare processi di fotodegradazione degli oggetti esposti se non sono adottate opportune raccomandazioni per una corretta illuminazione e schermatura delle radiazioni [16].

Come già accennato, la maggior parte degli ambienti espositivi non ha nessun tipo di regolazione microclimatica, ma soltanto impianti di riscaldamento attivi nel periodo invernale. Pertanto il microclima di questi ambienti subisce l'influenza del clima esterno, con un'incidenza che può essere più o meno rilevante nell'arco dell'anno. Invece nei musei dotati di impianti di condizionamento o climatizzazione, il clima artificiale fondamentalmente viene mantenuto stabile nel tempo [11]. Troviamo spesso impianti regolati su valori adeguati al benessere delle persone ma a volte inadeguati per la conservazione degli oggetti museali. Inoltre gli

stessi impianti possono essere sorgenti di inquinanti solidi o gassosi, sia di tipo chimico che biologico, se non sono oggetto di frequente manutenzione.

Altre volte possono essere presenti nello stesso museo ambienti espositivi caratterizzati da un più ristretto limite di tolleranza rispetto alla temperatura e alla umidità relativa, in relazione al controllo ambientale di particolari gruppi di oggetti.

Lo studio e il controllo delle condizioni [9,4,3] negli ambienti museali rappresenta pertanto una premessa fondamentale per definire situazioni di "rischio di deterioramento" poiché il microclima influisce, come abbiamo visto, in maniera determinante su tutti i processi fisici, chimici e biologici.

5.1.1 Controllo dei depositi

Sono probabilmente gli ambienti più importanti del museo poiché moltissimi oggetti vi rimangono per la maggior parte del loro tempo, in genere senza frequenti ispezioni, in condizioni ambientali non buone o attaccati da insetti. È essenziale che i depositi abbiano condizioni stabili di temperatura e umidità relativa e siano privi di inquinanti e insetti.

Differenti tipi di materiale richiedono livelli diversi di temperatura e umidità relativa che rendono necessaria la preparazione di differenti ambienti di deposito. In caso di arrivo di nuovo materiale sarà necessario conoscere le condizioni ambientali di origine per evitare stress al materiale, dovuto a troppo rapido cambiamento di temperatura e umidità relativa. È da evitare, in particolare nei depositi, la formazione di condensa di vapore.

I materiali da costruzione dei contenitori per deposito (container) debbono essere esenti da rilascio di sostanze chimiche pericolose e per sicurezza sarà opportuno porre all'interno sostanze assorbenti. I container di metallo sono più pericolosi di quelli di legno anche se sono preferiti per il minor costo. In caso di incendio infatti il container si scalda estendendo l'effetto fuoco ai materiali contenuti.

La fasciatura degli oggetti con carta acid free è pratica comune per poter formare barriere di protezione da inquinanti, intensità luminosa, insetti e abrasioni; la fasciatura aumenta inoltre la



capacità tampone del sistema rispetto all'umidità relativa. Materiali per l'assorbimento dell'umidità saranno adeguati per il controllo della UR se saranno posti all'interno di box sigillati. Luce artificiale e luce naturale diretta non dovranno entrare nei depositi. L'illuminazione sarà usata solo quando sarà necessario. E' importante che il livello di illuminazione sia alto per poter esaminare gli oggetti per brevi periodi. Sarà necessario un livello di 500 – 600 lux per poter vedere i dettagli delle superfici, ma solo per pochi minuti. Tubi fluorescenti dovranno essere schermati per evitare l'emissione di radiazione UV.

5.2 VETRINE, TECHE E CLIMABOX

Nei musei, la protezione degli oggetti, soprattutto dalla polvere, viene attuata attraverso l'uso di contenitori che, a seconda delle dimensioni e di altre caratteristiche, vengono chiamati vetrine (fig. 5.2), teche (fig. 5.3), climabox [1,3,15,21].

Se è possibile controllare l'ambiente del museo a livello di sala e di intero edificio, allora il condizionamento delle aree e delle vetrine di esposizione e dei depositi non sarà critico. Tuttavia, nella maggior parte dei musei, non è possibile realizzare un controllo sufficiente di temperatura, umidità relativa e di inquinamento atmosferico in particolare, e quindi è necessario considerare le vetrine di esposizione e i depositi come livello secondario di controllo dell'ambiente. Gli oggetti che sono esposti direttamente nelle sale del museo saranno ovviamente esposti agli effetti dell'ambiente, ma sarà necessario fornire un controllo migliore per gli oggetti che possono essere inseriti in contenitori quali teche e vetrine.

5.2.1 Controllo delle vetrine

Nella stessa maniera in cui sono affrontate le problematiche della qualità dell'ambiente delle sale, così occorre procedere al controllo della T, UR, illuminazione, sostanze inquinanti dell'aria e parassiti nei piccoli contenitori (vetrine e teche) e nei depositi, usando mezzi passivi [19]. Tuttavia, il primo punto da affrontare è la determinazione del tipo di contenitore di esposizione, i materiali con i quali è costruito e quanto chiude ermeticamente. Normalmente ci si preoccupa maggiormente della buona o cattiva tenuta dei contenitori più che della qualità dei materiali, della loro disponibilità o del controllo della qualità della costruzione dei contenitori di esposizione per i musei.

Temperatura e umidità. La posizione dei contenitori di esposizio-

ne all'interno del museo è importante. Se questi sono al centro della stanza allora l'aria che circola tenderà a fornire un primo livello di controllo dell'ambiente, che sarà reso ancor più stabile dal fatto che il contenitore è chiuso. Tuttavia, se le vetrine sono contro le pareti, allora dobbiamo preoccuparci di controllare se possono essere riscaldate dal sole che entra e successivamente raffreddate a seconda della temperatura della parete. I cambiamenti nella temperatura della parete saranno trasferiti alla vetrina con conseguenti cambiamenti di UR. Se la parete è abbastanza fredda aumenterà la UR all'interno con formazione di condensa e muffa. Per tali casi occorre distanziare la vetrina dalla parete o mettere un isolante fra vetrina e muro.

Se la vetrina è di grandi dimensioni allora temperatura e umidità relativa interne saranno simili ai valori della sala nella quale si trova. Se questi sono accettabili nessun ulteriore controllo dell'ambiente interno alla vetrina è richiesto. Se il controllo è necessario, la prima cosa da fare è rendere la vetrina chiusa a tenuta di aria, usando del silicone inerte per sigillare le fessure. Non vanno utilizzate guarnizioni di gomma.

I cambiamenti di umidità nella vetrina a tenuta saranno determinati in larga misura dai mutamenti di temperatura locali. Ciò significa che la luce solare diretta non deve cadere mai sulla vetrina o sulla teca e tutta l'illuminazione artificiale deve essere esterna e abbastanza lontana da non riscaldare il contenuto della stessa. Una temperatura stabile comporterà una UR stabile ed anche se questa è troppo alta o troppo bassa, potrà essere corretta localmente [27].

Ciò è possibile con l'uso di materiali assorbenti che si comportano in modo simile ai materiali organici. I materiali organici assorbono l'umidità quando essa aumenta e la liberano quando essa diminuisce, livellandone le fluttuazioni. I materiali quali il gel di silice ed il carbone attivo sono oggi comunemente usati nei musei. Entrambi funzionano attraverso il meccanismo dell'adsorbimento (quando cioè una sostanza si lega ad un'altra mediante legami chimici o forze fisiche) che permette di rilasciare l'umidità contenuta nel materiale per equilibrare l'umidità dell'ambiente. Il gel di silice può adsorbire soltanto l'acqua mentre il carbone attivo ha la capacità di rimuovere le sostanze inquinanti dell'aria quali i gas degli ossidi dell'azoto, dello zolfo e dell'ozono.

Il gel di silice è non solo un essicante, ma può essere condizionato per un dato valore di UR che verrà mantenuto finché sarà possibile, almeno due settimane. Circa 20 kg di gel di silice condizionato sono necessari per controllare la UR all'interno di una vetri-

na da esposizione di un volume di un metro cubo a patto che la vetrina sia sigillata. Un contenitore incapace di avere tenuta richiederà molto più gel di silice: se non lo sarà sufficientemente l'uso del gel di silice può essere uno spreco di tempo. Ci sono forme più efficienti di controllo di umidità basate sul gel di silice quale ART SORB.

Se il gel di silice è usato per controllare la UR all'interno di una vetrina o teca allora il controllo dovrà essere continuo per verificare se l'essiccante sta agendo. Non c'è nessun materiale d'assorbimento efficiente al 100% poichè continuamente assorbe e libera l'umidità e dopo qualche tempo deve essere ricondizionato. Le vetrine dovranno essere predisposte per ospitare il gel di silice, normalmente presente in un vassoio o cassetto costruito nella parte inferiore della vetrina che è facile da rimuovere per il ricondizionamento. I vassoi o gli orifizi di accesso richiederanno inoltre buone guarnizioni. Il gel di silice che spesso è sotto forma di granelli, dovrebbe essere sistemato in uno strato con spessore non superiore a 3 centimetri. L'ART SORB è disponibile anche sotto forma di cartucce e di feltro, che possono essere disposti all'interno del contenitore.

La UR può essere anche controllata tramite l'uso di materiali organici, come il cotone. Tali materiali devono essere stabili, per esempio usando cotone che non è stato trattato con prodotti chimici quali gli ignifughi che possono liberare vapori nocivi all'interno del contenitore.

Luce. È necessario controllare la luce nella vetrina sia come illuminamento (lux) che come UV (micro watt/m²), ricordando che le lampade a incandescenza producono calore ma bassi livelli di UV mentre i tubi fluorescenti forniscono luce fredda, ma senza diffusori di perspex, producono alti livelli di radiazione ultravioletta. È preferibile tenere le lampade fuori dal contenitore per non avere riscaldamento e variazioni di UR all'accensione e allo spegnimento. Inoltre alcuni insetti sono attratti dalla luce e finiscono per rimanere intrappolati dentro i contenitori. Nei casi in cui è indi-





Fig 5.2 *Animali imbalsamati esposti in vetrine.*

spensabile illuminare l'interno è necessario un progetto accurato per ridurre il rischio di danno agli oggetti contenuti. Per esempio le luci possono essere poste in alto e sarà necessario una apertura per la ventilazione, protetta da una reticella per non far entrare insetti.

Con l'uso di filtri anti-UV è possibile ridurre il livello di UV nel contenitore. I filtri possono essere applicati ai vetri o possono essere utilizzati vetri laminati con filtri.

Inquinanti. Il controllo degli inquinanti nei contenitori può essere raggiunto:

- minimizzando l'ingresso di aria
- costruendo il contenitore con materiali a bassa o nulla emissione di sostanze inquinanti
- mettendo sostanze per depurare l'aria all'interno della vetrina.

Prove hanno dimostrato che contenitori non sigillati mostrano una rimozione di inquinanti con sostanze assorbenti più veloce di un ordine di grandezza rispetto ai contenitori che ne sono privi.

La polvere di carbone attivo è il miglior assorbente di inquinanti. Se il legno o prodotti del legno fanno parte della costruzione del contenitore è necessario sapere che dal legno lavorato possono esalare sostanze come formaldeide, acetaldeide, acido formico e acetico. In questo caso è necessario trattare la superficie del legno con fogli di plastica o alluminio o meglio con vernici poliuretatiche a base acquosa.

Insetti. Il controllo degli insetti è molto più facile nei contenitori che negli ambienti.

Se il contenitore è ben sigillato entreranno meno insetti ma in ogni

caso sarà importante predisporre trappole per insetti e porre filtri nelle aperture.

Il problema delle muffe nelle teche e vetrine può essere controllato attraverso la UR.

In generale questi contenitori possono avere diversi gradi di tenuta d'aria: le vetrine normalmente sono provviste di ante apribili, a volte a tenuta di polvere ma non a tenuta di gas; le teche invece sono ispezionabili solo attraverso manovre che richiedono personale apposito, generalmente fornito dalla ditta costruttrice. Il materiale utilizzato è metallo e cristallo o più raramente materiali plastici trasparenti. I climabox infine sono contenitori costruiti per proteggere una singola opera e sono provvisti di sistemi passivi di regolazione dell'umidità relativa interna. Vetrine, teche e cli-



Fig 5.3 Teche.

mabox possono all'occorrenza essere equipaggiati con sistemi attivi di regolazione dell'umidità interna e sovrappressione (fig 5.4). La debole sovrappressione viene applicata per mantenere gas e particelle dell'ambiente esterno fuori dalla teca. Questi accessori sofisticati permettono effettivamente un buon controllo delle condizioni interne ma, per il costo e la manutenzione, debbono essere adottati solo quando è strettamente necessario. In generale,

infatti, è conveniente limitare il numero di apparecchiature da utilizzare nel museo, e ciò per differenti motivi:

- costi di esercizio e manutenzione
- rischio di danno all'oggetto conservato per malfunzionamento dell'apparecchiatura
- dipendenza dall'apparecchiatura una volta attivata.

Meno impegnativo e meno oneroso è invece l'uso dei sistemi passivi per mantenere sotto controllo i valori di umidità relativa all'interno dei contenitori, attraverso l'impiego di sostanze dette essicanti.

Queste sostanze, disponibili in diversi formati (granulare, tavolette, fogli) hanno la funzione di catturare il vapor d'acqua presente nell'ambiente e trattenerlo. Quando si parla di essiccanti si utilizza il termine "adsorbimento" che si affianca alla parola assorbimento che conosciamo bene.

L'assorbimento si ha quando una sostanza chimicamente si integra in un'altra. Quando beviamo un bicchiere d'acqua, la assorbiamo mentre essa scorre senza fissarsi. L'adsorbimento si ha quando una sostanza si lega ad un'altra attraverso legami di natura fisica o chimica. Se rovesciamo un bicchiere d'acqua sulla nostra camicia, l'acqua è adsorbita poiché le fibre tratterranno l'acqua fino a che il calore non asciugherà la camicia. Il gel di silice trattiene l'acqua per adsorbimento. Se l'assorbimento avviene solo alla superficie si parla più specificatamente di adsorbimento, se avviene entro il volume di materia si parla di assorbimento.

Come nell'ambiente circostante, anche nelle vetrine e nelle teche l'umidità relativa è una variabile importante che va tenuta costantemente sotto controllo poiché risentirà delle variazioni di temperatura. I materiali che assorbono acqua tendono a fungere da tamponi di umidità: infatti nel trasporto si utilizzano materiali come carta o gel di silice. Negli ambienti e nelle vetrine tanto maggiore sarà la quantità di oggetti, tanto migliore sarà la stabilità del valore di umidità. Nei depositi del museo solitamente gli oggetti si stabilizzano, ma la presenza di materiali da imballo sensibili all'umidità favorirebbe certamente questo equilibrio.

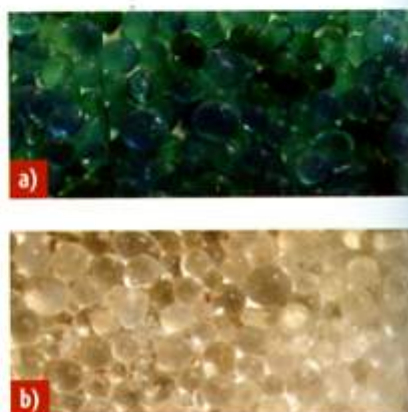
Generalmente, invece, i materiali da imballo vengono rimossi per separare gli oggetti originali dai materiali superflui: questa operazione è dannosa poiché accelera gli scambi di vapore fra oggetto e ambiente. In ogni caso per attuare questa tecnica di bilanciamento igrometrico, dobbiamo ricordare di introdurre sempre materiali "tampone" aventi la stessa temperatura di quella dell'oggetto che avvolgiamo.

L'acqua è presente nelle vetrine e nelle teche in tre modi: il vapore acqueo dell'aria; il vapore acqueo adsorbito dai materiali all'interno della vetrina; il vapore acqueo che può trovarsi sulle pareti interne della vetrina. L'essicante deve agire su tutte e tre le frazioni di acqua per assolvere alla sua funzione di tampone [24].



Fig 5.4 Modulo CLIMAX 3500 per il controllo dell'umidità e della sovrappressione in vetrine museali (dimensioni LxHxP 40x30x23 cm).

Fig 5.5 Il silice gel di colore blu (a) considerato pericoloso è ora sostituito da quello di colore bianco senza indicatore (b).



Di fatto, ciò che ci interessa come risultato finale è il mantenimento di un certo tenore di umidità, o contenuto di acqua, all'interno dei materiali da conservare.

In pratica la situazione è un poco differente da come tendiamo a vederla noi poiché l'umidità che riusciremo a mantenere nella vetrina sarà il risultato dell'equilibrio fra il contenuto idrico dei materiali e delle sostanze essicanti e il vapore presente nell'aria a quella temperatura. In teoria se la temperatura della teca rimanesse costante e non ci fossero perdite di vapor d'acqua, potremmo fare a meno delle sostanze essicanti poiché sarebbe sufficiente l'umidità interna dei materiali.

Oggi abbiamo la possibilità di scegliere fra numerosi prodotti essicanti oltre al solito gel di silice con l'indicatore di cobalto blu (silica gel in inglese) che nel frattempo è stato classificato come pericoloso per la salute e di cui è stato vietato l'uso (fig. 5.5).

Continua ad essere utilizzato il gel di silice senza sali di cobalto, accanto ad altri prodotti come PROSorb e ART SORB che vengono rispettivamente impiegati per un'umidità relativa da 40% a 60% e da 60% a 80%. ART SORB è una sostanza a base di gel di silice e cloruro di litio, sensibile alla umidità: viene impiegata con buoni risultati come soluzione passiva nell'intervallo 60 – 75% di UR. È disponibile in granuli e tavolette o contenuta in sacchetti (fig. 5.6).

La capacità di assorbimento di questi prodotti è riportata nella tabella 5.1, nella quale accanto a PROSorb e ART SORB, vi sono due tipi di gel di silice microporoso e macroporoso.

PROSorb presenta alcuni vantaggi:

- non contiene cloruro di litio, che è potenzialmente pericoloso, ma allumina (ossido di alluminio)
- ha basso potere abrasivo rispetto al gel di silice
- mantiene le stesse caratteristiche per 5 anni
- è economico rispetto ad altri prodotti.

Un grafico di comparazione fra i diversi tipi di essicante è riportato in fig. 5.7. Possiamo notare i differenti andamenti di assorbimento di vapor d'acqua: il PROSorb sembra essere il più adatto per molti oggetti che troviamo nel museo.

Fig 5.6 Essicante in confezioni differenti: PROSorb, ART SORB, in scatole e in fogli.



Va in ogni caso ricordato che nelle vetrine e nelle teche è fortemente consigliato controllare continuamente i valori di temperatura e di umidità relativa con strumentazione elettronica che

Tab 5.1

CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO DI VAPOR D'ACQUA AMBIENTE A 25 °C

PROSORB			ARTSORB			SILICA GEL TIPO E-MIKROPOROSO		SILICA GEL TIPO E-MIKROPOROSO	
UMIDITÀ RELATIVA (UR)	ACQUA ASSORBITA IN PESO %	FRA 40-60% (UR)	ACQUA ASSORBITA IN PESO %	FRA 40-60% (UR)		ACQUA ASSORBITA IN PESO %	FRA 40-60% (UR)	ACQUA ASSORBITA IN PESO %	FRA 40-60% (UR)
10%	6,2 %		6,5 %			7,0 %		2 %	
20%	10,6 %		11,5 %			14 %		3 %	
30%	16,2 %		16 %			20,5 %		4 %	
40%	22,5 %		22 %			25 %		5 %	
50%	30,4 %	16,3 %	26 %	13%		28 %	5,5%	6,5 %	3%
60%	38,8 %		35 %			30,5 %		8 %	
70%	44,9 %		54 %			32 %		11 %	
80%	46,8 %		67 %			33 %		17 %	
90%	48 %		74 %			34 %		32,5 %	
100%	49 %		80 %			35 %		93,5 %	

Fig 5.7 Comparazione della capacità di assorbimento di quattro differenti tipi di essicante

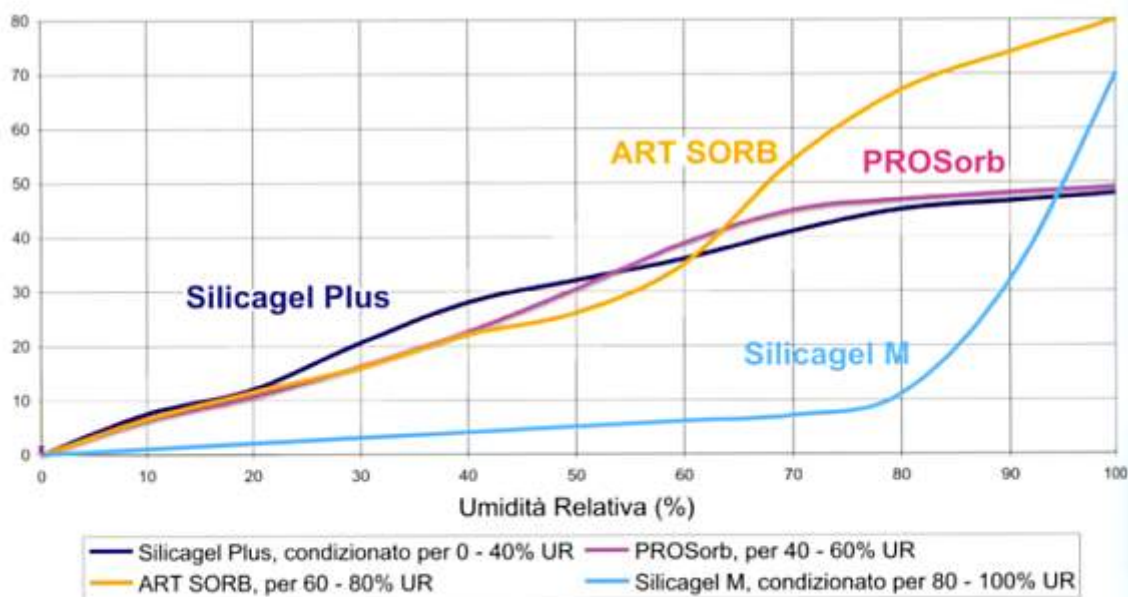
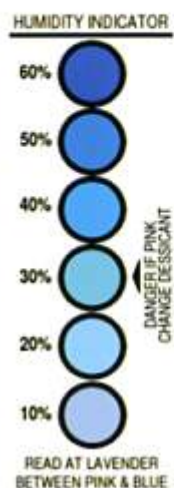


Fig 5.8 La striscia indicatrice per UR da 10 a 50%: il valore raggiunto viene indicato dal colore lavanda.



permette l'inserimento di sensori all'interno dei contenitori senza dover effettuare modifiche alle strutture.

In caso di non disponibilità di questo tipo di strumentazione, consigliamo di optare per soluzioni più economiche ma sufficientemente efficaci.

Sono infatti disponibili indicatori passivi di umidità chiamati *humidity indicator cards* che possono essere inseriti nelle teche e mostrano una scala di valori di umidità relativa costituita da dischetti di colore blu che diventano rosa quando raggiungono il valore di UR corrispondente (figg. 5.8 – 5.9) o che segnalano il massimo valore di umidità raggiunto. Questi indicatori sono ovviamente monouso ma di prezzo contenuto e assolvono il compito di segnalatori facilmente identificabili.

Un'alternativa a questi indicatori passivi è l'uso di piccoli strumen-

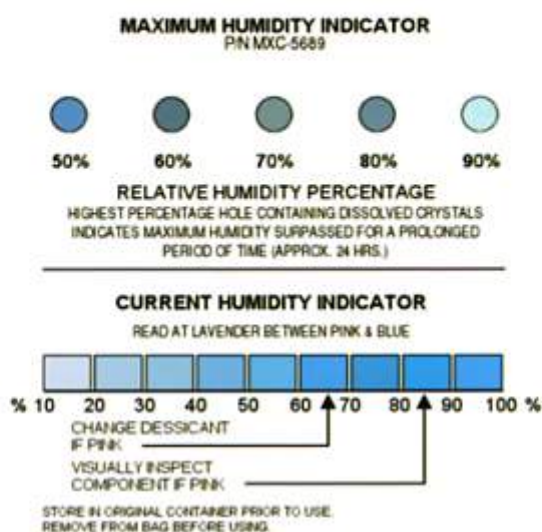


Fig 5.9 La card che segnala la massima UR raggiunta con la scomparsa del corrispondente bollino colorato.

ti digitali con display, da sistemare all'interno delle vetrine.

Va ricordato inoltre che le capacità di regolazione dell'umidità relativa da parte di queste sostanze sono in ogni caso molto modeste, nonostante le assicurazioni dei venditori. Qualora i valori di umidità si discostino molto dal valore prefissato, è conveniente provvedere alla sostituzione dell'essicante che in qualche caso può essere rigenerato.

Infine va ricordato che l'illuminazione di teche e vetrine deve essere eseguita con cura e perizia per non innalzare la temperatura interna. In modo particolare vanno tenuti fuori dalle vetrine gli ali-

mentatori delle lampade e le lampade stesse possibilmente da collegare a dispositivi che segnalino la presenza del visitatore per poter contenere la quantità di radiazione che investe gli oggetti. È utile ricordare ancora di verificare la qualità delle emissioni luminose che debbono essere prive di radiazione ultravioletta.

Tecche, vetrine e climabox vanno preparati in ambienti puliti e con condizioni termoigrometriche simili a quelle che abbiamo scelto per l'interno di questi contenitori.

5.2.2 Materiali da costruzione per vetrine e container-deposito

I materiali usati per costruire vetrine e unità di deposito compren-

Approfondimento

COME AGISCE LA SOSTANZA ESSICANTE

La maggior parte delle sostanze assorbenti come il gel di silice, l'argilla attivata porosa o i setacci molecolari si basano sull'adsorbimento fisico piuttosto che sull'adsorbimento chimico per compiere la loro funzione. L'adsorbimento fisico coinvolge le forze intermolecolari relativamente deboli (forze del van der Waals ed interazioni elettrostatiche) fra l'umidità e la superficie dell'essicante. L'adsorbimento chimico coinvolge invece un legame chimico reale come succede nell'ossido di calcio che è un chemioassorbente. L'adsorbimento fisico di umidità è in genere esotermico, genera cioè calore. La resistenza dei legami di adsorbimento può essere misurata dal calore dell'adsorbimento. Più alto è il calore di adsorbimento di umidità sull'essicante, più forte è il legame e meno facilmente l'umidità potrà successivamente essere rimossa. In un essicante poroso quale il gel di silice, l'acqua è

rimossa dall'aria: 1) per adsorbimento delle molecole di acqua da parte degli strati sottili della superficie dell'essicante; 2) per condensazione capillare in cui i pori più piccoli sono riempiti di acqua. La condensazione capillare avviene perché la pressione del vapore acqueo di saturazione in un piccolo poro è ridotta dall'effetto di tensione superficiale.

Quest'ultimo meccanismo è frequente sugli intonaci e sulle pietre a porosità fine e permette la presenza di acqua liquida anche in condizioni di temperatura superficiale della parete superiori alla temperatura di rugiada. In altri termini, la parete è bagnata senza essere più fredda dell'aria come avviene generalmente.

dono metalli, legni, adesivi, sigillanti, vernici e rivestimenti. Essi debbono essere stabili e inerti per non produrre alcuna sostanza, come i composti organici volatili. I seguenti materiali sono in generale considerati pericolosi per la costruzione di vetrine e container deposito:

- adesivi monocomponenti epossidici, polisulfidi, acetato di polivinile (PVA), cloruro di polivinile (PVC), nitrato di cellulosa, formaldeide
- vernici a base olio
- metalli
- nylon o poliesteri
- carta se acida, come i giornali quotidiani
- sigillanti acidi
- tessuti colorati o ignifughi
- legno duro come quercia, teak, nocciolo



LINEE GUIDA PER CONTENITORI ESPOSITIVI

La progettazione delle vetrine deve assumere come aspetto prioritario quello conservativo. A tutt'oggi la maggior parte delle vetrine consente a mala pena di proteggere le opere dalla polvere, in quanto le preoccupazioni maggiori sono relative alla protezione dai furti e dai danneggiamenti e quella legata all'aspetto estetico [22].

Quindi:

- l'aspetto estetico di un contenitore espositivo deve essere, all'atto della progettazione, subordinato a quello prioritario della conservazione del manufatto.
- anche l'aspetto legato alla migliore visibilità e fruizione degli oggetti esposti, anche dal punto di vista didattico, deve essere considerato prioritario.
- il sistema vetrina diventa un organismo funzionale unico col sistema degli oggetti conservati.
- nel caso della conservazione otti-

male in atmosfera controllata, questi presidi tecnici devono condizionare gli scambi tra atmosfera esterna e interna e tra questa e gli oggetti conservati, secondo i valori consigliati per quella specifica classe di materiali.

In particolare è necessario che venga effettuato il massimo contenimento:

- del damping termico (capacità di contenimento delle oscillazioni della temperatura);
- delle oscillazioni dell'umidità relativa;
- degli scambi d'aria con l'ambiente esterno (comprendenti inquinanti gassosi, vapore acqueo e particolato);
- delle sollecitazioni meccaniche che si possono prevedere nello specifico contesto museale della vetrina, ma anche di quelle naturali attese in quel particolare territorio secondo le previsioni delle

carte del rischio sismico.

Deve essere garantita una semplice manutenzione degli impianti di condizionamento, sia passivi che attivi, che vengono installati all'interno o all'esterno delle vetrine per tutti gli specifici scopi conservativi anzidetti. Il documento suggerisce poi delle operazioni e calcoli da eseguire per valutare e accertare il corretto funzionamento di una vetrina, atte a individuare le caratteristiche del sistema manufatto - contenitore che entrano in gioco e determinano l'andamento e l'entità degli scambi igrometrici all'interno di questo sistema e tra il sistema stesso e l'ambiente circostante.

Porre un'opera all'interno di una vetrina con microclima non corretto significa correre il rischio di sottoporre l'opera a processi di deterioramento e di invecchiamento accelerati.

- legno composto
- lana.

I seguenti materiali sono in generale considerati idonei per la costruzione di vetrine e container deposito:

- adesivi acrilici, epossidici doppio componente
- ceramiche e vetri
- vernici a base acqua
- metalli alluminio, bronzo, acciaio
- fili di nylon e poliestere per sospendere
- carta acid free
- prodotti plastici, polietilene (PE), polipropilene (PP), policarbonato

Sintesi

I MACROAMBIENTI

Gran parte dei problemi di conservazione deriva dalla non idoneità degli edifici e degli ambienti adibiti a museo, archivio e altre funzioni accessorie.

- Edifici costruiti ad hoc dotati di impianti di climatizzazione. In essi, se esiste una corretta regolazione dei parametri, il rischio di processi di degradazione fisica chimica e biologica è molto ridotto.
- Edifici costruiti ad hoc privi di impianti di climatizzazione, costruiti in epoche diverse, con criteri diversi e nei quali si ha una vasta gamma di microclimi.
- Edifici o locali destinati ad altri usi e adattati successivamente. Musei, anche di recente costituzione, che si trovano in edifici che hanno avuto origine per altre destinazioni (conventi, scuole, abitazioni ecc.). Spesso per carenza di spazio vengono utilizzati gli ambienti più disparati e meno idonei (umidi, privi di aerazione, scarsamente illuminati ecc.). In ambienti di questo tipo si hanno le condizioni climatiche più varie, non facilmente schematizzabili e che comunque di frequente favoriscono il deterioramento dei materiali.

I MICROAMBIENTI

Nei musei la protezione degli oggetti, soprattutto dalla polvere, viene attuata attraverso l'uso di contenitori chiamati vetrine, teche, climabox. Occorre procedere al controllo della temperatura, umidità relativa, illuminazione, sostanze inquinanti dell'aria e parassiti anche nei piccoli contenitori (vetrine e teche) e nei depositi, usando i seguenti mezzi passivi:

- a) *controllo e misura dei valori di umidità relativa* all'interno dei contenitori attraverso
 - l'impiego di sostanze essicanti: gel di silice senza sali di cobalto o PROSorb e ART SORB che vengono rispettivamente impiegati per umidità relativa da 40% a 60% e da 60% a 80%.

- laminati plastici come formica e micarta
- tessuti non colorati
- sigillanti neutri
- legno come faggio, betulla, pino

La scelta di materiali idonei garantisce evidentemente la migliore conservazione degli oggetti posti all'interno di vetrine e teche.

- la UR può anche essere controllata tramite l'uso di materiali organici, come il cotone.
- indicatori passivi di umidità monouso chiamati humidity indicator cards che possono essere inseriti nelle teche e mostrano il massimo valore di umidità raggiunto.
- piccoli strumenti digitali con display, da sistemare all'interno delle vetrine.

b) *controllo della luce* sia come illuminamento (lux) che come UV ($\mu\text{watt}/\text{m}^2$)

c) *controllo degli inquinanti:*

- minimizzando l'ingresso di aria
- costruendo il contenitore con materiali a bassa o nulla emissione di sostanze inquinanti
- mettendo sostanze per depurare l'aria all'interno della vetrina.

d) *controllo degli insetti:* se il contenitore è ben sigillato entreranno meno insetti ma in ogni caso sarà importante predisporre trappole per insetti e porre filtri nelle aperture.

Vetrine, teche e climabox possono all'occorrenza essere equipaggiati con sistemi attivi di regolazione dell'umidità interna e sovrappressione. Per il costo e la manutenzione comunque se ne consiglia l'uso solo quando è strettamente necessario.



COLLEZIONI PERMANENTI, ARCHIVI E DEPOSITI

- L'*isolamento termico* degli edifici aiuta a limitare gli scambi di calore sia verso l'esterno (durante l'inverno) sia verso l'interno (durante l'estate). Non è solo un problema di risparmio energetico ma anche di limitazione dello stress termico e meccanico a cui sono continuamente sottoposti le strutture e gli oggetti presenti nel museo.
- Edifici con climatizzazione:
 - predisporre un adeguato controllo dei reali valori di temperatura e umidità delle sale e dei depositi, confrontando le misure con i valori impostati sui termostati che regolano l'impianto
 - eseguire le misure in prossimità delle opere presenti nella sala
 - evitare la vicinanza di bocchette di mandata e di aspirazione o di sorgenti di luce
 - controllare l'andamento giornaliero dei parametri microclimatici valutando le variazioni di temperatura e di umidità relativa che non debbono superare rispettivamente 1,5 °C e 5% circa
 - si presume che la maggior parte degli ambienti sia monitorata per poter valutare la distribuzione della temperatura e della umidità nell'edificio
 - si suggerisce di confrontare l'andamento termoigrometrico interno con misure esterne all'edificio.
- Edifici privi di climatizzazione e forniti unicamente di impianto di riscaldamento:
 - verificare il programma di riscaldamento (date, ore e temperature)
 - se si hanno termoconvettori, verificare che siano stati sostituiti i filtri dell'aria (verificare che i filtri esistano poiché potrebbero non esserci su vecchi impianti)
 - nella stagione invernale il personale di sorveglianza utilizza stufette supplementari?
 - se sì, dove sono ubicate?
- Depositi:
 - Il monitoraggio continuo è indispensabile sia nelle sale espositive che nei depositi e va consultato giornalmente, se non viene fatto da un service esterno
 - aria filtrata anche nei depositi: spesso i depositi non sono luoghi idonei alla conservazione delle opere che vi permangono anche per anni
 - far osservare un programma di pulizia regolare anche per i depositi

- controllare che vi sia circolazione d'aria sufficiente, non vi siano macchie di umidità su pareti, soffitti e pavimenti, se vi sono finestre controllare che siano oscurate
 - proteggere dalla polvere le opere in deposito
 - eseguire periodici campionamenti aerobiologici soprattutto se gli ambienti sono umidi (UR > 65%)
 - monitorare la presenza di insetti.
- **Collezioni:**
- controllo sistematico delle condizioni delle vetrine e teche in merito al passaggio di polvere
 - controllo dell'umidità relativa con misure periodiche e/o con indicatori di umidità all'interno delle vetrine
 - controllo della efficienza degli essicanti nelle vetrine, teche e climabox
 - controllo dei valori di illuminamento sugli oggetti nelle vetrine e valutazione della dose annua
 - protezione generale delle collezioni dalla luce naturale e artificiale
 - adozione di interruttori elettrici a presenza
 - attenzione alla luce solare all'interno delle sale nel periodo invernale (sole basso all'orizzonte)
 - programmare la manutenzione periodica (spolveratura, attaccaglie, efficienza impianti)
 - controllo generale delle infiltrazioni d'acqua su pavimenti, pareti e soffitti.
- **Altro:**
- approfittare di eventuali lavori di ristrutturazione per inserire modifiche e migliorie a impianti.
- **Laboratori di restauro:**
- controllo termoigrometrico del laboratorio
 - scambio di informazioni microclimatiche fra museo e laboratorio
 - definizione di un protocollo di trasferimento di opere da e per il museo (tempi e parametri termoigrometrici da rispettare, acclimatamento delle opere in transito).