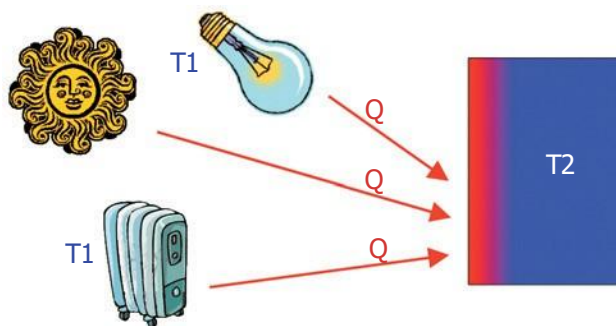


Fig 1.6 Trasferimento di calore (Q) per irraggiamento dal corpo a temperatura notevolmente elevata T_1 a quello a temperatura minore T_2 attraverso l'emissione di onde elettromagnetiche.



1.2.2 Umidità

Parlare di umidità significa parlare di acqua sia allo stato di vapore che allo stato liquido: infatti, in aria è presente il vapor d'acqua che viene normalmente misurato come umidità relativa ma, alla stessa maniera, usiamo il termine "umidità" anche se ci riferiamo alla presenza di acqua, in questo caso liquida, all'interno dei materiali o delle sostanze, definendo questa umidità come "contenuto di acqua per unità di peso o volume". Nelle problematiche della conservazione ci interessano entrambe le forme di umidità, poiché quasi sempre esse si trovano in equilibrio fra loro.

È quindi importante per noi conoscere le caratteristiche dell'acqua e i modi per misurarla nelle diverse forme che incontriamo più frequentemente: l'acqua vapore e l'acqua liquida.

Come vedremo rapidamente, non potremo parlare di vapor d'acqua senza coinvolgere la temperatura, poiché in aria questi due fattori, oltre alla pressione, sono strettamente dipendenti fra loro. Mentre la pressione la considereremo costante e quindi la utilizzeremo raramente, l'umidità e la temperatura dovranno essere trasformate in parametri termoigrometrici che ci serviranno per analizzare le caratteristiche del microclima e la sua interazione con i materiali presenti.

Ecco di seguito i principali parametri termoigrometrici.

L'umidità relativa, indicata con UR (in inglese RH) è il rapporto fra la pressione parziale di vapor d'acqua e la pressione di vapore saturo ad una data temperatura.

In altri termini è il rapporto fra la quantità m_v di vapore presente in un volume d'aria ad una certa temperatura e la quantità m_s di vapore necessaria per saturare lo stesso volume d'aria:

$$UR = m_v / m_s$$

acqua contenuta nel materiale e in equilibrio con l'aria ambiente. Nel legno possiamo verificare che se l'umidità relativa varia fra 10 e 90% il valore di EMC sarà fra 2 e 20% a seconda del tipo e delle condizioni del legno (fig. 1.7).

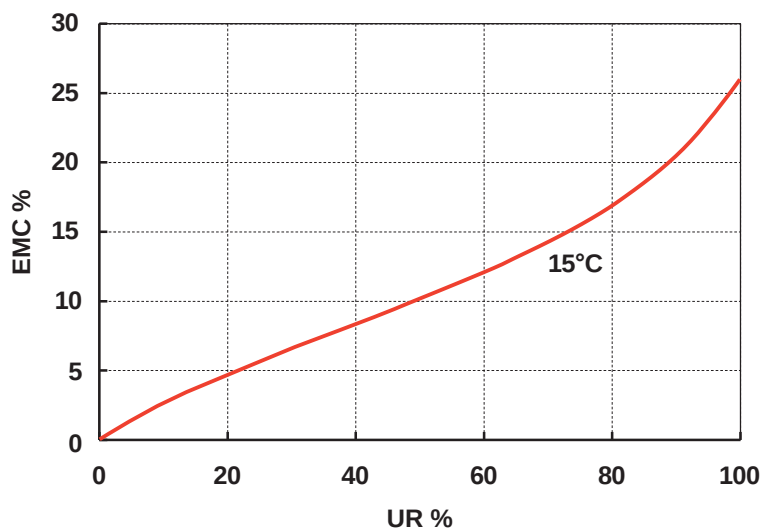


Fig 1.7 Equilibrio del contenuto percentuale (EMC%) di acqua nel legno (curva rossa) in relazione alla umidità relativa (UR%) dell'aria circostante.

Sintesi

L'UMIDITÀ

- La *bassa umidità relativa negli ambienti* di esposizione e di deposito è pericolosa tanto quanto l'eccessiva umidità soprattutto quando sono presenti materiali nei quali l'acqua entra a far parte della struttura del materiale stesso come acqua di imbibizione o acqua legata a livello molecolare come nel caso della cellulosa nella carta o nelle fibre del legno. Disidratati, questi materiali perdono la loro elasticità.
- Generalmente misuriamo l'*umidità relativa UR* come indice di presenza di vapore nell'ambiente e la utilizziamo per le strategie di conservazione. L'*umidità assoluta UA* e l'*umidità specifica US* vengono maggiormente usate in termotecnica per la progettazione di impianti di climatizzazione. Ovviamente tutte e tre le grandezze sono correlate tra loro.
- UR e UA dipendono dalla temperatura, mentre US è indipendente.
- L'umidità relativa non è distribuita uniformemente in un ambiente, poiché è legata alla distribuzione della temperatura. Dove si verificheranno sensibili differenze di temperatura, come in prossimità di pareti, porte, finestre, sorgenti di calore, avremo sensibili variazioni di umidità relativa.

Referenze: [7,18,21,27,28]

mantenendo lontana la sorgente. Questo sistema viene spesso utilizzato per evitare il riscaldamento da illuminazione all'interno di vetrine.

Di seguito riportiamo le principali caratteristiche operative delle lampade più diffuse per l'illuminazione di ambienti, dalle grandi sale alle vetrine.

Come tutti sappiamo il tipo di illuminazione da adottare all'interno di un museo deve soddisfare le seguenti caratteristiche:

- essere privo della componente ultravioletta che provoca alterazione dei pigmenti colorati
- essere privo o a bassa emissione della componente infrarossa (calore)
 - essere regolabile in intensità luminosa.

Altre caratteristiche illuminotecniche possono essere aggiunte, come la possibilità di regolazione del fascio luminoso, l'orientabilità della sorgente luminosa o l'aggiunta di schermi e filtri.

La tabella 1.1 riporta le lampade che non dovrebbero essere utilizzate per l'illuminazione di sale e vetrine, e quelle che meglio si prestano per gli allestimenti museali.

Da evitare sono le lampade a incandescenza per la grande emissione di calore oltre che per il basso rendimento energetico, le lampade a fluorescenza e quelle alogene che emettono radiazione ultravioletta. Queste ultime, soprattutto quando sono utilizzate per l'illuminazione di vetrine, debbono essere installate al di fuori per evitare il riscaldamento dei ridotti volumi e debbono essere opportunamente schermate con vetro per diminuire l'emissione UV.

Dagli anni '90 sono disponibili nuovi sistemi di illuminazione basati sui LED ad alta emissione luminosa e privi sia della componente IR che UV oltre ad offrire il vantaggio di bassi consumi e alimentazione a bassa tensione.

Riguardo all'impiego delle lampade o tubi a fluorescenza (erroneamente dette "al neon" che sono tutt'altra cosa) va esercitato un controllo accurato anche nei depositi, nei magazzini e nei locali di consultazione, spesso considerati erroneamente locali di minor importanza rispetto alle sale di esposizione.

Sintesi



LA LUCE

- La radiazione luminosa naturale e artificiale è comunque dannosa ai fini della conservazione e pertanto va limitata e controllata al pari della umidità e della temperatura.
- La progettazione e l'utilizzo dei sistemi di illuminazione debbono essere trattati con professionalità da operatori esperti nelle problematiche del settore museale e specificatamente nella conservazione. Non sempre questi criteri vengono rispettati e spesso sono sacrificati a criteri estetici o impiantistici.
- I danni provocati dalla radiazione luminosa sono spesso associati alla presenza di elevata umidità ambientale.
- Nella scelta della sorgente luminosa vanno considerate sia l'intensità che la qualità (spettro di emissione) della luce, non solo per ragioni di resa cromatica ma soprattutto di effetto dannoso sull'oggetto illuminato.

Referenze: [1,2,3,4,5,6,10,12,43,53,54]

1.3.2 Condensazione ed evaporazione

Un problema ricorrente e pericoloso ai fini della conservazione è la formazione di acqua liquida sulle superfici sia delle strutture (vetri e intonaci) che degli oggetti. Questo fenomeno è provocato dalla condensazione del vapor d'acqua presente nell'ambiente sulle superfici fredde circostanti.

Il passaggio fra i diversi stati dell'acqua è regolato, come abbiamo visto, dai processi di evaporazione e condensazione, i quali modificano il contenuto atmosferico di vapore. Il fattore che caratterizza il comportamento del vapore è dato, per ogni temperatura, da un valore in peso che non può essere superato (vapore saturo). Per esempio, a livello del mare e con temperatura di 20 °C, un metro cubo d'aria non può contenere oltre 17 grammi di

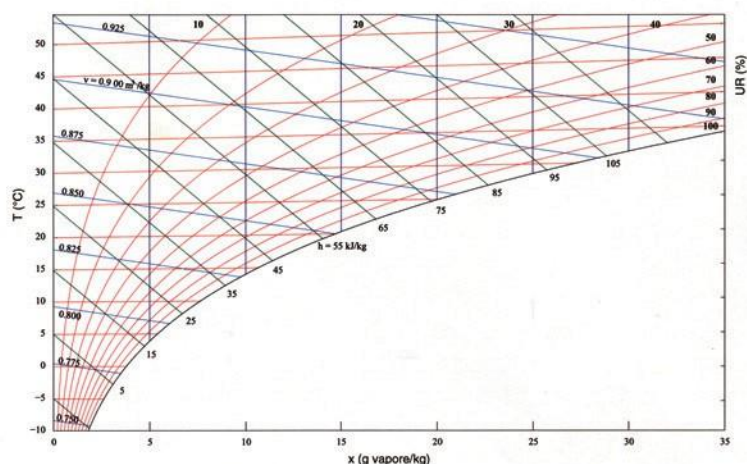
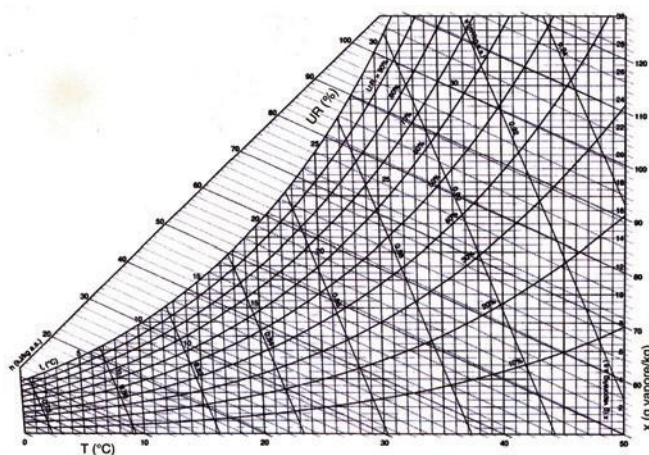


Fig 1.12 Diagramma di Mollier (in alto) e carta psicrometrica (in basso) per ricavare attraverso le misure di temperatura, l'umidità relativa, l'umidità specifica e la temperatura di rugiada quando si debbono affrontare problemi di evaporazione e condensazione di acqua sulle superfici.



vapor d'acqua. Questa condizione, espressa in umidità relativa percentuale, corrisponde al valore 100%; vale a dire che esisterà un equilibrio fra l'umidità atmosferica e le superfici bagnate circostanti. L'umidità relativa come abbiamo detto è data dal rapporto tra la massa di vapore presente e quella di vapore necessaria per saturare lo stesso volume d'aria alla stessa temperatura. La temperatura alla quale il vapore per raffreddamento diventa saturo, viene detta *temperatura di rugiada*. Una superficie si trova alla temperatura di rugiada quando su di essa si forma un velo di acqua di condensazione. La presenza di acqua liquida sui substrati esposti all'atmosfera, all'interno o all'esterno, permette l'attivazione di processi biologici vegetativi e riproduttivi e di molte reazioni chimiche che innescano processi di trasformazione delle superfici e del substrato. Infatti, questi processi non vengono limitati alle sole superfici ma possono, attraverso la migrazione dell'acqua per capillarità, interessare in profondità i materiali in esame. In questo caso l'acqua diventa un importante veicolo di trasferimento indiretto di sali e di sostanze dall'aria ai manufatti. Da quanto abbiamo qui esposto risulta quindi indispensabile monitorare la temperatura degli oggetti e delle strutture contestualmente al monitoraggio dell'umidità relativa ambiente. Uno strumento molto utile per coloro che debbono affrontare più in dettaglio situazioni ambientali in cui i fenomeni di evaporazione e condensazione sono rilevanti è il diagramma psicrometrico che qui presentiamo solo a titolo esemplificativo, in comparazione con l'analogo diagramma di Mollier. In entrambi sono indicate le relazioni fra temperatura, umidità relativa e temperatura di rugiada (fig. 1.12).

Un problema differente si presenta qualora le superfici dei manufatti si trovino a temperatura superiore a quella ambiente: in questo caso avremo il fenomeno della evaporazione del contenuto d'acqua presente sulla superficie o nel materiale. Le conseguenze di questo processo saranno principalmente due:

- raffreddamento della superficie determinato dal passaggio del liquido a vapore
- migrazione di sali dall'interno del materiale verso la superficie con formazione di strutture cristalline.

Questo secondo fenomeno può facilmente provocare la disgregazione e il distacco dello strato superficiale delle strutture per effetto della crescita interna di strutture cristalline che occupano volumi superiori al volume nel quale sono contenute le soluzioni saline, così come avviene per la formazione di ghiaccio nelle rocce e sulla pietra. Nel caso di una struttura isolata questi pro-

cessi possono essere interrotti con opportuni provvedimenti. Nel caso di murature, spesso la sorgente di umidità risiede nel terreno sul quale poggia la struttura con effetti continuativi nel tempo.

Entrambi i processi, di condensazione e di evaporazione, sono normalmente ciclici perché legati a cicli naturali o artificiali di riscaldamento e raffreddamento dell'ambiente circostante o direttamente del materiale stesso. È questa ciclicità la maggiore responsabile degli effetti spesso macroscopici di deterioramento dei materiali e degli oggetti.

Anche la presenza di particolato atmosferico contribuisce alla formazione di condensa in quanto oltre ad accrescere le proprietà igroscopiche della superficie, ne aumenta la capacità di attirare molecole di vapor d'acqua che via via condenserà. Le particelle inquinanti in questo caso fungeranno da "nuclei di condensazione" come correttamente vengono chiamate. La spolveratura frequente limita questo fenomeno al pari della pulizia periodica che noi facciamo sul lato interno dei vetri della nostra auto per prevenire l'appannamento cioè la condensa di vapore d'acqua [19, 20, 21, 22].

1.3.3 Effetti della luce

I danni provocati dalla radiazione luminosa sia naturale che artificiale sono altrettanto importanti e gravi quanto quelli provocati dalla umidità o ancora peggiori in quanto spesso impercettibili all'occhio umano se non sono stati adottati accorgimenti per compararne l'effetto lento ma costante nel tempo.

Un valore di illuminamento di 50 lux sembra non danneggiare l'oggetto illuminato, ma lo stesso valore per 8 ore al giorno per 50 anni provoca certamente danni irreversibili e la perdita delle caratteristiche originali dell'opera.

La qualità e l'intensità della luce possono provocare danni soprattutto ai pigmenti colorati utilizzati sui diversi tipi di supporto, ma non sono esenti da danni per esposizione alla radiazione luminosa anche altri materiali come la carta. Per questo tipo

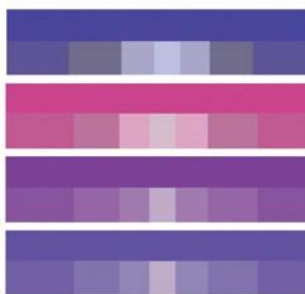


Fig 1.13 Prove di scolorimento di tessuti di lana esposti alla radiazione di una lampada alogena dicroica, attraverso mascheramento per tempi successivi.

di materiale è dimostrata l'azione distruttiva sulla cellulosa da parte della radiazione ultravioletta. Questa banda di lunghezza d'onda compresa fra i 380 e i 10 nanometri ha la caratteristica di possedere energia superiore alla banda dello spettro visibile, energia in grado di modificare i legami delle molecole di molte sostanze chimiche.

La difesa dalla radiazione ultravioletta è l'utilizzo di appositi filtri ottici e la drastica riduzione degli oggetti alla esposizione.

Molti dei sistemi di illuminazione che vengono normalmente usati in ambienti domestici, civili e industriali emettono, a partire dai comuni tubi a fluorescenza e dalle lampade alogene, una sensibile dose di radiazione ultravioletta che agisce in tempi rapidi su molti materiali, dalla carta alla plastica.

Come abbiamo già detto, è sempre più importante adottare filtri anti-ultravioletto sia per proteggere gli oggetti dalla luce solare che penetra negli ambienti, sia da quella emessa dai sistemi di illuminazione. Questi aspetti e queste soluzioni non sono sufficientemente presi in considerazione né dagli architetti né dagli stessi curatori [43, 44, 53, 54].

1.3.3.1 Illuminanti raccomandati

Nella tabella 1.2 vengono riportate le quattro categorie di fotosensibilità in cui sono stati suddivisi i materiali e vengono stabiliti i

Tab 1.2

CATEGORIE DI

CATEGORIA FOTOSENSIBILITÀ		ILLUMINAMENTO MASSIMO
1 Molto bassa	Reperti e manufatti relativamente insensibili alla luce: metalli, materiali lapidei e stucchi senza strato di finitura, ceramiche, gioielleria, smalti, vetri, vetrate policrome, reperti fossili	Superiore a 300 ma con limitazioni sugli effetti termici in particolare per stucchi, smalti, vetrate e fossili
2 Media	Reperti e manufatti moderatamente sensibili alla luce: pitture ad olio ed a tempera verniciate, affreschi - materiali organici non compresi nei gruppi 3 e 4 quali quelli in corno, osso, avorio, legno	150
3 Alta	Reperti e manufatti altamente sensibili alla luce: tessuti, costumi, arazzi, tappeti, tappezzeria; acquerelli, pastelli, stampe, libri, cuoio tinto; pitture e tempere non verniciate, pittura a guazzo, pitture realizzate con tecniche miste o "moderne" con materiali instabili, disegni a pennarello; piume, pelli e reperti botanici, materiali etnografici e di storia naturale di origine organica o tinti con prodotti vegetali;	50
4 Molto alta	Reperti e manufatti estremamente sensibili alla luce: mummie; sete, inchiostri, coloranti e pigmenti a maggior rischio di scoloritura come lacche, ecc.	50

Nella pratica



TEMPERATURA E

CALORE

- 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 ai quali sono continuamente sottoposti le strutture e gli oggetti presenti nel museo.
- Un suggerimento: cerchiamo di *rilevare la temperatura* con strumenti adatti e con procedure corrette; evitiamo di basarci sulle sensazioni del nostro corpo per giudicare se un ambiente è troppo caldo o troppo freddo, troppo secco o troppo umido.
- Normalmente siamo più abituati a pensare al *trasferimento di calore* attraverso la conduzione, quando c'è contatto fra gli oggetti, o attraverso la convezione naturale o forzata come quella dell'aria in prossimità del termosifone o del termoventilatore, ma le situazioni di riscaldamento di oggetti attraverso l'irraggiamento sono molto più frequenti di quanto possiamo pensare: l'azione dei raggi solari che entrano attraverso una finestra, l'illuminazione artificiale, la vicinanza di corpi caldi non necessariamente luminosi.
- Ci si riscalda anche "guardando" semplicemente il termosifone o un fuoco acceso ed è sufficiente un foglio di carta frapposto fra noi e la sorgente di calore per interrompere l'invisibile processo di trasferimento di calore che in questo caso avviene per irraggiamento, così come avviene quando ci esponiamo ai raggi del sole.
- Semplici dimostrazioni dell'effetto del *riscaldamento da irraggiamento* le possiamo verificare quando eseguiamo misure di temperatura. Se all'interno di una sala misuriamo la temperatura tenendo il termometro vicino al nostro corpo avremo una sovrastima di qualche decimo di grado della temperatura ambiente dovuta al calore irradiato da noi stessi. Se la stessa misura la facciamo all'aperto in una giornata di sole, dovremo avere l'accortezza di non tenere il bulbo o il sensore del termometro esposto ai raggi solari o "illuminato" dalla riflessione del terreno. Per questo motivo le misure di temperatura all'esterno sono effettuate con termometri provvisti di opportune schermature alla luce solare.
- A proposito di passaggi di stato o trasformazioni della materia, rappresentati schematicamente nella figura 1.3, certamente avremo all'interno del museo la possibilità di verificare i passaggi di stato indicati sulla destra della figura e più precisamente l'acqua liquida che si trasforma in vapore ed il vapore che condensa in acqua liquida; più raramente assisteremo alle trasformazioni indicate sulla sinistra della figura e cioè la fusione di sostanze solide (a meno di non esporre oggetti di cera in una vetrina colpita dal sole). Al contrario, potremo avere più frequentemente la "sublimazione" ovvero la trasformazione di un solido in vapore, senza il passaggio per la fase liquida e viceversa, come nel caso delle *sostanze solide insetticide* (es. canfora e naftalina) che a temperatura ambiente esalano continuamente vapori che possono, in particolari condizioni, condensare negli armadi e nelle teche, trasformandosi in cristalli che possono danneggiare gli oggetti vicini.

LUCE

- Chiedete al progettista e all'installatore di fornirvi innanzitutto i dati caratteristici dell'allestimento di illuminazione in termini di qualità (spettro di emissione) e intensità (illuminamento) delle sorgenti luminose proposte. I dettagli elettrici e di sicurezza non servono nella fase di valutazione del progetto poiché questi dettagli sono in ogni caso obbligatori per legge.
- Gli oggetti illuminati si riscaldano poco o tanto. Controllate e misurate gli effetti prima della definitiva collocazione.
- L'illuminazione non provoca solo riscaldamento della superficie illuminata ma anche scolorimento dei pigmenti. Utilizzate i sistemi di accensione a presenza ambientale per allungare la vita dell'oggetto e risparmiare energia e denaro.

UMIDITÀ

- L'assorbimento di umidità nei materiali può essere controllato attraverso il controllo della umidità dell'ambiente e l'uso intelligente di vetrine e teche contenenti speciali sostanze assorbenti (questo argomento sarà sviluppato nel capitolo 5).
- Il controllo dei valori di umidità relativa nei diversi ambienti del museo o dell'archivio è una attività assolutamente prioritaria rispetto al controllo dell'illuminamento (quantità di luce che colpisce l'oggetto) e della temperatura.
- Le misure debbono essere effettuate in modo continuativo per poter costituire un archivio di dati indispensabili sia nella diagnostica che nella cura dei danni alle opere.
- La scelta del tipo di strumentazione e della gestione delle misure è estremamente importante e va fatta consultandosi non solo con gli addetti commerciali delle organizzazioni di vendita di questo tipo di prodotto, soprattutto quando non si hanno all'interno del museo le competenze necessarie (questo argomento sarà sviluppato nel capitolo 4).

VENTILAZIONE

- La ventilazione nelle sale espositive è utile per avere una distribuzione uniforme della temperatura e della umidità ma non deve essere eccessiva come spesso accade (non superiore a 0,1 metri al secondo) e deve essere effettuata con aria filtrata per limitare la circolazione e deposizione di polvere. Lo stesso trattamento deve essere riservato ai depositi, spesso sottovalutati, nei quali non sempre vi è la possibilità di una sistemazione idonea del materiale immagazzinato (accatastato, appoggiato sul pavimento, ecc.).

VIBRAZIONI

- Gli oggetti nei musei subiscono continue vibrazioni la cui frequenza può danneggiare la loro struttura. Poniamo all'attenzione del conservatore questa problematica soprattutto per strutture di ragguardevoli dimensioni poste a piani elevati in edifici urbani con circolazione di veicoli pesanti quali gli autobus. Il rimedio spesso consiste nel progettare sostegni ammortizzati.



Fig 2.8 Fessurazione del legno causata da stress termoigrometrico.

risulta di non trascurabile rapidità e rilevanza. L'umidità costantemente elevata resta comunque l'elemento determinante per il manifestarsi dei fenomeni di biodeterioramento del legno che si realizza anche a temperature piuttosto basse; nel Nord Europa i problemi connessi con le carie del legno sono frequenti e molto rilevanti (fig. 2.8).

Maggiori informazioni sui processi di degrado biologico del legno sono sviluppate nella specifica bibliografia [31, 32].

2.4.4.3 Tessuti

La diversa natura chimica di questi materiali determina una diversa vulnerabilità all'attacco biologico. Nel caso delle fibre di origine vegetale gli organismi più temibili sono quindi i cellulolitici, soprattutto alcuni Deuteromiceti. L'attacco è reso più difficile dall'eventuale presenza di lignina associata alla cellulosa, mentre è facilitato dalla presenza di sostanze organiche più facilmente biodegradabili, quali pectine e amidi (fig. 2.9). La composizione percentuale di queste fibre è legata alla parte della pianta utilizzata (semi, fusto, foglie) oltre che al tipo di manifattura (purificazione delle fibre dalla lignina).

Le fibre di origine animale sono generalmente meno soggette all'attacco microbico di quelle cellulolitiche e subiscono danni per l'attività metabolica di alcuni microrganismi, batteri e funghi, con capacità proteolitiche specifiche; in particolare le fibre di lana sono degradate prevalentemente da batteri (specifici ceppi cheratinolitici) rispetto a quelle di cotone mentre sono più resistenti all'attacco fungino. La seta risulta invece scarsamente soggetta al

Fig 2.9 Alterazione dei tessuti da non idonee condizioni ambientali.



degrado microbico. Le fibre di seta sono costituite per il 60-80% da fibroina (scleroproteina altamente cristallina ed insolubile) e per il 25-30% da sericina (proteina albuminoide idrosolubile); particolari tecniche di manifattura che comportano la rimozione della sericina o anche eventuali impurità incrementano ulteriormente la resistenza al biodeterioramento microbico.

Come per gli altri materiali organici di natura igroscopica, l'attacco microbiologico è fortemente legato alla UR ambientale e, nel caso di ambienti museali dove l'umidità è controllata, risulta un evento abbastanza raro.

Maggiori informazioni sui processi di degrado biologico dei tessuti sono sviluppate nella specifica bibliografia [4,16,30,42,60].

Fig 2.10

Fragilità di cuoio e pergamena.



2.4.4.4 Pergamena e cuoio

L'attacco biologico è dovuto essenzialmente a microrganismi dotati di specifici enzimi proteolitici (collagenasi, cheratinasi, ecc.). Oltre ai batteri, molti funghi, tra cui alcune famiglie di Ascomiceti, mostrano attività proteolitica extracellulare (fig. 2.10). Il processo di scissione avviene dapprima attraverso proteinasi che rompono legami interni ai peptidi e rilasciano peptidi solubili; successivamente questi possono entrare nelle ife ed essere degradati, nei loro componenti aminoacidici, da peptidasi.

La degradabilità aumenta a seguito della depolimerizzazione e denaturazione collegata ai proces-

Nella pratica



POLVERI, VAPORI E GAS

Le sostanze inquinanti caratteristiche dell'atmosfera dei centri urbani sono presenti in misura rilevante anche all'interno degli edifici, in quantità che vanno dal 10 al 40% dell'inquinamento esterno. Musei e archivi non fanno eccezione.

- Tre sono le azioni da intraprendere:
 - il monitoraggio di gas e particelle all'interno del museo
 - il controllo degli scambi d'aria fra ambiente interno e ambiente esterno
 - la frequente rimozione della polvere all'interno del museo.

MONITORAGGIO DEGLI INQUINANTI

- Per i musei situati in centri urbani o in aree a elevato inquinamento atmosferico è consigliato un periodico rilevamento (4 volte l'anno) dei seguenti inquinanti: ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O_3), anidride carbonica (CO_2).
- Il monitoraggio va richiesto a ditte specializzate e viene eseguito posizionando negli ambienti prestabiliti e per un tempo definito (da 1 settimana a 1 mese) semplici campionatori passivi che verranno poi ritirati e analizzati dalla stessa ditta.
- I risultati del monitoraggio non sono quindi disponibili in tempo reale, ad eccezione dell'anidride carbonica (CO_2) la cui misura può essere eseguita con un sensore speciale collegato alle centraline microclimatiche predisposte (sensore relativamente costoso).
- In caso di superamento dei limiti di inquinamento riportati alla tabella 3.2 di questo capitolo, occorrerà mettere in atto procedure mirate alla riduzione del carico di inquinanti atmosferici attraverso:
 - la rimozione dei depositi di polvere sugli oggetti e negli ambienti
 - la riduzione degli scambi di aria fra esterno e interno, incluso il controllo della tenuta dei serramenti
 - la filtrazione dell'aria circolante negli ambienti.
- Il monitoraggio dell'anidride carbonica (CO_2) può risultare importante e, in casi di sovraffollamento, obbligatorio soprattutto in occasione di Mostre temporanee. Il monitoraggio va predisposto per tempo per poter garantire la disponibilità dei dati in tempo reale.

- Il monitoraggio della corrosione di oggetti di metallo può essere eseguito con speciali campionatori passivi detti “corrosion classification coupons”.
- Per finalizzare il monitoraggio degli inquinanti occorre mettere in atto protocolli che regolino tempi e modi di apertura di porte e finestre (ventilazione naturale) e/o sistemi mobili o fissi di filtrazione dell'aria.

MONITORAGGIO DELLE POLVERI

- Il monitoraggio delle polveri può essere eseguito autonomamente dal museo o dall'archivio purché soddisfi queste condizioni:
 - possesso dello strumento portatile di misura (valore attuale circa 4.000 euro)
 - addestramento di un operatore.
- Senza questi requisiti occorre rivolgersi ad un servizio qualificato.

IL TRATTAMENTO DELL'ARIA

- La frequentazione sempre maggiore degli ambienti museali e degli archivi e il consistente aumento del livello di inquinamento atmosferico richiedono un maggior controllo della qualità dell'aria degli ambienti interni e azioni e procedure che si prefiggano la regolazione della umidità relativa, la rimozione delle polveri e la rimozione di gas inquinanti.

REGOLAZIONE DELLA UMIDITÀ

- Occorre un impianto di climatizzazione predisposto per l'umidificazione e la deumidificazione dell'aria. Possono essere utilizzate anche macchine singole che generalmente sono costruite per la sola funzione di deumidificazione.
- L'umidificazione degli ambienti con apparecchiature singole è possibile però solamente per sale di ridotte dimensioni.

RIMOZIONE DELLE POLVERI

La *circolazione della polvere* è condizionata dalla circolazione dell'aria negli ambienti e dal tipo di sistema di riscaldamento.



- Con il *riscaldamento a termosifone* non vi è alcuna possibilità di separare la polvere che circola assieme all'aria calda.
- Con il *riscaldamento a termoconvettore* la circolazione dell'aria è forzata da ventilatori che generalmente sono provvisti di filtri da cambiare periodicamente. Non cercate di risparmiare sulla sostituzione dei filtri e controllate che non siano sostituiti con filtri rigenerati meno efficienti. La frequenza del cambio dei filtri va determinata dopo alcuni controlli.
- Con il *riscaldamento a circolazione d'aria* normalmente sono inserite nell'impianto batterie di filtri la cui efficienza deve essere frequentemente controllata. Anche in questo caso, suggeriamo di contattare periodicamente il gestore del servizio per informazioni sulla sostituzione dei filtri.
- La *spolveratura periodica* degli oggetti è senza dubbio una pratica efficace non solo per la manutenzione degli oggetti ma anche per la rimozione della polvere dagli ambienti. Suggeriamo di non sottovalutarne l'importanza.
- La *pulizia dei pavimenti* è l'operazione più importante per la rimozione delle polveri. I risultati, però, dipendono fortemente da come viene eseguita.
- Pulizia con *macchine per l'aspirazione della polvere*: questa procedura elimina la polvere grossolana ma rimette in sospensione la polvere fine che continuerà a circolare nell'ambiente per tempi lunghi.
- *Lavaggio dei pavimenti*: impedisce la risospensione della polvere fino a quando il pavimento è bagnato, ma genera una consistente quantità di umidità registrata dagli igrometri presenti.
- Pulizia con *macchine lavapavimenti*: è certamente la miglior soluzione se non sono presenti moquette o sbarramenti sul pavimento. La pulizia viene eseguita con l'asportazione della polvere e il contemporaneo lavaggio del pavimento, senza modificare sensibilmente l'umidità degli ambienti.

RIMOZIONE DEGLI INQUINANTI

È una procedura complessa e costosa che richiede impianti generalmente utilizzati negli ambienti industriali e quindi non alla portata della gestione di edifici pubblici e privati.

- 
- Esistono soluzioni basate sul lavaggio dell'aria ambiente che sono però applicabili per ambienti di piccole dimensioni. Questa soluzione può essere presa in considerazione per piccoli depositi.
 - La soluzione più economica ed efficace consiste nella *limitazione degli scambi di aria* fra esterno e interno e nella filtrazione dell'aria circolante.
 - Adottare bussole e doppie porte per evitare l'ingresso diretto di aria esterna.

COMFORT UMANO E CONSERVAZIONE

Nel capitolo abbiamo messo in evidenza questa problematica che riassumiamo in alcuni azioni da intraprendere.

- Vigilare per il rispetto del mantenimento delle condizioni termoigrometriche degli ambienti che dovrebbero rispettare le norme di sicurezza relative a questa tipologia.
- Controllare frequentemente la velocità dell'aria che circola nei diversi ambienti e che può provocare sensazione di disagio quando supera certi valori.
- Vigilare sulle manovre arbitrarie di modificazione della regolazione prestabilita di riscaldamento.
- Vigilare sull'arbitraria apertura di finestre e porte.
- Considerare l'opportunità di suggerire o fornire un tipo di abbigliamento al personale di sorveglianza, idoneo alle condizioni ambientali del museo.
- Ricordare che il personale del museo e i visitatori percepiscono diversamente le stesse condizioni microclimatiche.
- Discutere e predisporre con il gestore dell'impianto di climatizzazione le specifiche di esercizio dell'impianto finalizzato alla buona conservazione delle opere presenti nel museo.

MONITORAGGIO DEL MUSEO A

DISTANZA

• Cosa deve fare il museo?

- designare un referente, responsabile del monitoraggio microclimatico
- tenere sotto controllo le apparecchiature di monitoraggio
- consultare frequentemente gli esiti del monitoraggio attraverso il sito web dedicato
- leggere i rapporti periodici inviati dal gestore esterno e conservarli
- attuare con tempestività le raccomandazioni riportate nei rapporti
- ottemperare alle richieste di dati e informazioni formulate dal gestore per l'ottimizzazione del servizio
- interpellare il gestore per qualsiasi richiesta di chiarimento.

MISURE AEROBIOLOGICHE, DI INQUINANTI, DI POLVERI

Questo tipo di misure richiede una strumentazione costosa e gestita da personale addestrato e pertanto l'esecuzione di queste misure va commissionata a un laboratorio specializzato.

Perché si debbono fare queste misure?

Per monitorare la presenza e la concentrazione di gas e particelle responsabili di alterazioni a oggetti e materiali (vedi cap. 3).

Quando vanno fatte queste misure?

In alcuni periodi dell'anno.

- Le misure di concentrazione di aerosol biologico andrebbero eseguite quattro volte l'anno in corrispondenza dei periodi stagionali significativi.
- Gli ambienti più a rischio per fenomeni di attacco biologico sono quelli particolarmente umidi e scarsamente aerati. Attenzione anche ad armadi e vetrine.
- Le misure di concentrazione di gas inquinanti vanno eseguite nei mesi di gennaio-febbraio quando il tasso d'inquinamento esterno raggiunge i valori massimi.
- Le misure indoor di particolato atmosferico (polveri) vanno condotte in concomitanza delle misure di aerosol biologico, confrontandole con la situazione esterna.
- Rimedi per limitare gli scambi di aria fra esterno e interno:
 - Controllare la tenuta dei serramenti.
 - Predisporre l'entrata del museo con bussole e doppie porte.
 - Verificare le procedure utilizzate per la pulizia degli ambienti, controllando che l'uso dell'aspirapolvere non causi la sistematica risospensione della polvere del pavimento.

- 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.

Nella pratica



Per abbattere gli inquinanti e le polveri portate dai visitatori:

- far sostare il visitatore in locali antistanti le sale espositive, intrattenendolo con documentazione inerente la mostra o filmati didattici
- diluire le presenze nel tempo, contingentando gli ingressi
- utilizzare all'ingresso tappeti che trattengano le polveri che il visitatore porta con sé

Per agevolare il benessere termico del personale di sorveglianza:

- equipaggiare il personale con indumenti adatti al microclima invernale ed estivo del museo o fornire adeguate informazioni sul tipo di abito da indossare

Criteri per la pulizia dei locali:

- aerazione dei locali (in assenza di climatizzazione)
- eliminazione dei rifiuti
- spazzatura dei pavimenti
- lavaggio settimanale dei pavimenti

Procedure e controlli generali:

Per una corretta gestione degli ambienti e dei materiali, giornalmente debbono essere attuati i seguenti protocolli:

- controllo e registrazione giornaliera dei visitatori
- pulizia dei locali e delle opere
- controllo dell'apertura di porte e finestre
- controllo del corretto funzionamento degli impianti di riscaldamento e di climatizzazione
- sostituzione periodica dei filtri (dei termoconvettori, del sistema di circolazione dell'aria o della climatizzazione)
- controllo delle condizioni microclimatiche del museo