

Anche in questo caso è importante ricorrere al monitoraggio delle vibrazioni presenti nei locali del museo, attraverso misure periodiche o, quando necessario, misure continue, utilizzando servizi in grado di affrontare correttamente il problema con strumentazione idonea [45, 55, 56]. Non vanno inoltre dimenticati i problemi generati dalle vibrazioni durante i trasporti terrestri e aerei per i quali vengono adottate soluzioni che consistono in imballaggi speciali. Anche per questo parametro è possibile il monitoraggio sia di postazione fissa (nel museo) sia di postazione mobile (nella cassa che trasporta l'oggetto), con strumentazione collegata a piccoli datalogger che permettono di analizzare la situazione in atto o in tempo differito.

1.3 I PIÙ IMPORTANTI FENOMENI FISICI

1.3.1 Effetti del calore

Come abbiamo visto precedentemente gli oggetti e le strutture possono ricevere o cedere calore in varia maniera ma gli effetti sui materiali riscaldati dipenderanno da:

- velocità nel tempo del riscaldamento e del raffreddamento
- intensità e quantità di calore trasferito
- tipo di materiale e di superficie.

Su queste condizioni gli effetti potranno essere:

- dilatazione e restringimento delle dimensioni della struttura o di parti di struttura
- variazione drastica del contenuto di acqua nel materiale riscaldato
- accelerazione di processi chimici e biologici
- distacco di pellicole superficiali, formazione di fessurazioni e perdita di materiale
- perdita delle caratteristiche meccaniche (fragilità, elasticità) del materiale.

Ogni oggetto e ogni materiale dovranno necessariamente essere considerati in maniera specifica qualora si verifichino effetti come quelli sopra elencati.

Va da sé che i criteri di sicurezza per una corretta conservazione raccomandino di cercare di mantenere gli ambienti interni il meglio isolati possibile dall'ambiente esterno e gli oggetti lontani da fonti di calore visibili e invisibili [31].

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

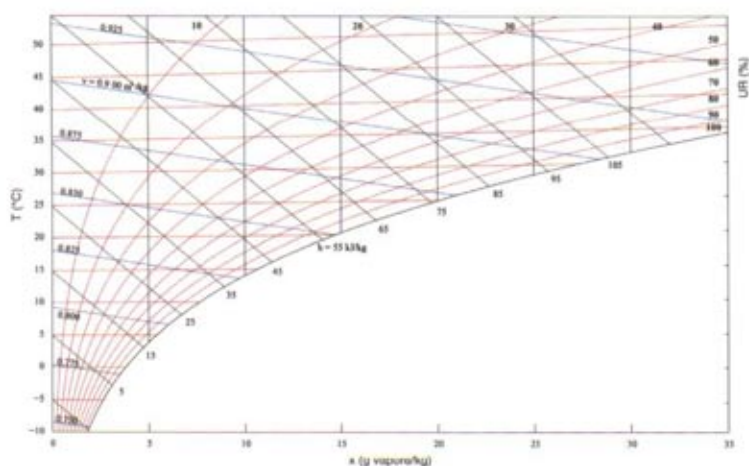
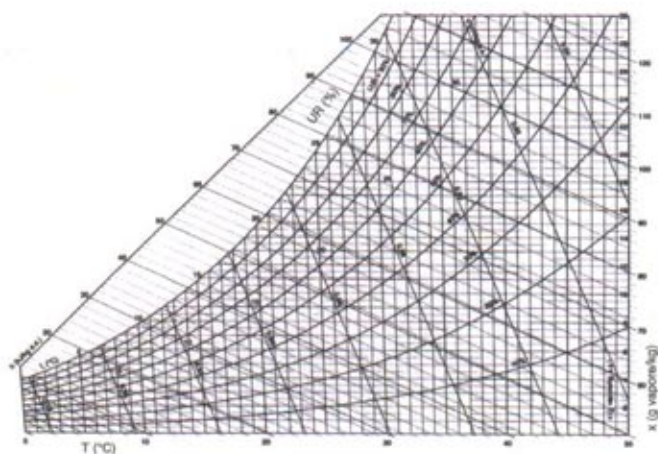


Fig 1.12 Diagramma di Mollier (in alto) e carta psicrometrica (in basso) per ricavare attraverso le misure di temperatura, l'umidità relativa, l'umidità specifica e la temperatura di rugiada quando si debbono affrontare problemi di evaporazione e condensazione di acqua sulle superfici.



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

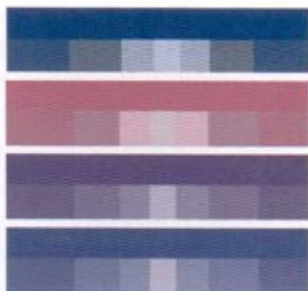


Fig 1.13 Prove di scolorimento di tessuti di lana esposti alla radiazione di una lampada alogena dicroica, attraverso mascheramento per tempi successivi.

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 Illuminamenti 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 FOTOSENSIBILITÀ

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, vetrare policrome, reperti fossili	Superiore a 300 ma con limitazioni sugli effetti termici in particolare per stucchi, smalti, vetrare 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: tessili, 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

livelli di massimo illuminamento, suggeriti nel Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" [47]

Nel caso di presenza di più materiali e/o tecniche, deve essere posto il limite corrispondente alla classe più protetta. Come già descritto, l'intensità dell'azione fotochimica è legata in modo diret-

Approfondimento

MONITORAGGIO CONTINUO DELL'ESPOSIZIONE ALLA LUCE

Piuttosto che calcolare l'esposizione alla luce nel tempo per settimane o mesi, è preferibile controllare l'esposizione espressa in lux per ora (lx.h), cioè la quantità di luce (detta illuminamento) moltiplicata per il periodo di esposizione (in ore). Nel caso di luce naturale ciò può essere fatto per mezzo di un datalogger (centralina) collegata a un radio-

metro per misurare la radiazione solare ricevuta. La stessa cosa dovremmo fare accanto agli oggetti esposti nel museo. Ciò è spesso poco praticabile per motivi economici o estetici. Recentemente è stato messo in commercio un misuratore passivo di illuminamento, prodotto nell'ambito del progetto europeo di ricerca "The City of Tomorrow and

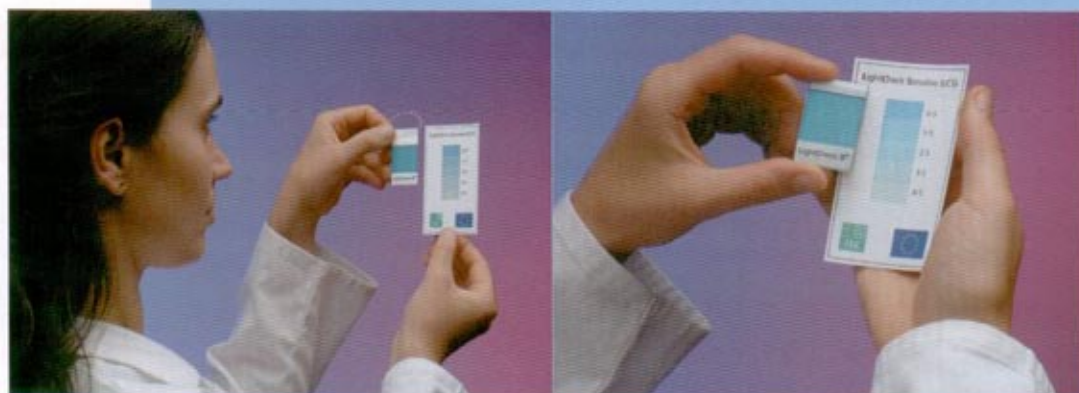


Fig 1.14 *LightCheck®* è un nuovo strumento per valutare la quantità di luce ricevuta da un oggetto anche sotto luce debole come 50 lux per alcuni mesi.

to alla radiazione cumulata nel tempo. Nella tabella seguente (tab. 1.3) sono riportati i valori annuali massimi raccomandati, espressi in lux per ora/anno (LO), per le categorie di manufatti sensibili alla luce [47].

Tab 1.3

DOSE DI LUCE ANNUALE

CATEGORIA FOTOSENSIBILITÀ	LUX ora/anno (LO)
2 Media	500.000
3 Alta	150.000
4 Molto alta	50.000

Tab 1.4

CODICI DI ESPOSIZIONE LUMINOSA EQUIVALENTE (ELE)

LIGHTCHECK® Ultra,
massimo 120 000 lx.h
(fino a decolorazione completa)

LCU	ESPOSIZIONE LUMINOSA EQUIVALENTE (lx.h)
4U	75 000-100 000
3U	45 000-75 000
2U	30 000-45 000
1U	5 000-30 000
0U	0-5 000

LIGHTCHECK® Sensitive,
massimo 400 000 lx.h
(fino a decolorazione completa)

LCS	ESPOSIZIONE LUMINOSA EQUIVALENTE (lx.h)
4S	sopra 340 000
3S	200 000-340 000
2S	80 000-240 000
1S	60 000-100 000
0S	sotto 60 000

Cultural Heritage”, ref. EVK4-CT2000-00016, denominato LightCheck® e introdotto come alternativa facilmente utilizzabile dall’utente (fig 1.14).

LightCheck® è costituito da una sostanza sensibile alla luce che cambia colore durante l’esposizione. È stata fatta una calibrazione per stabilire il rapporto fra colore ed esposizione luminosa [51]. Sono disponibili due tipi di strisce di LightCheck®: una per oggetti sensibili alla luce (categoria II), la seconda

striscia per oggetti meno sensibili (categoria III). Le strisce debbono essere esposte accanto all’oggetto e la quantità di luce ricevuta verrà valutata per comparazione con una scala colorata che riporta i codici di esposizione luminosa equivalente (ELE) riportati nella tabella 1.4. Per stimare l’esposizione annua, moltiplicare il valore ELE per 365 e dividere per il numero di giorni di esposizione del LightCheck®.

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.

2.1 LE TIPOLOGIE

Gli oggetti presenti in un museo possono essere costituiti da materiali molto differenti fra loro e con risposte all'impatto delle condizioni ambientali molto diversificate. Generalmente un oggetto è composto da più tipi di materiale che con il loro comportamento ne possono compromettere la durata nel tempo. In termini generali distinguiamo i materiali in inorganici e organici.

2.1.1 Materiali inorganici

2.1.1.1 Materiali lapidei

I materiali lapidei comprendono una vasta casistica di materiali, in parte di origine naturale (calcari, travertini, marmi, arenarie, tufi, ecc.), in parte di origine artificiale (mattoni, terracotta, stucchi, malte, intonaci, ecc.), che per costituzione chimica risultano di natura litoide. Si includono in questo gruppo anche gli affreschi in quanto la tipologia dei pigmenti aggiunti non ne modifica le caratteristiche significative ai fini del potenziale attacco biologico.

2.1.1.2 Vetro

Il vetro è un materiale di natura silicea difficilmente attaccabile dagli organismi biologici a meno che non si realizzino condizioni ambientali particolarmente favorevoli, quali soprattutto elevata umidità e presenza di materiale organico sovrapposto al substrato.

2.1.1.3 Metalli

Analogamente al vetro, i metalli sono difficilmente degradati da organismi biologici; pur tuttavia esiste la possibilità che i microrganismi possano concorrere a determinare delle corrosioni superficiali, soprattutto in ambienti saturi di umidità. Più spesso però, il metallo esercita un'azione tossica o inibitoria (es. rame, piombo, ecc.).

2.1.2 Materiali organici

2.1.2.1 Carta

La carta è un materiale di origine vegetale costituito essenzialmente da cellulosa e da altre sostanze variabili in quantità e tipologia in funzione delle materie prime utilizzate e dei processi di manifattura adottati. Infatti mentre nelle carte antiche le materie

prime erano costituite soprattutto da stracci di cotone selezionati e contenevano quindi cellulosa quasi pura, nel caso di materiali moderni la materia prima è costituita da polpa di legno e alla cellulosa si sommano altre sostanze, quali lignina, emicellulose, pectine, cere, tannini e proteine. Le diverse materie prime utilizzate e l'aggiunta di altre materie organiche, quali colle, inchiostri, pigmenti, come nel caso di documenti e stampe, o di altri materiali costituenti le legature, come nel caso di libri, condizionano la sua biodegradabilità.

Dal punto di vista chimico la cellulosa è un polimero lineare del glucosio, costituente la parete delle cellule vegetali, la cui struttura base è una lunga catena di glucano, contenente circa 10.000 molecole di glucosio. Più catene sono regolarmente allineate a formare microfibrille e ciò ne determina specifiche caratteristiche cristalline, che rendono la cellulosa più resistente alla degradazione.

2.1.2.2 Legno

Il legno è un materiale complesso di origine vegetale formato da un insieme di tessuti secondari con funzione di conduzione (vasi o tracheidi), meccanica (fibre o fibrotracheidi) o parenchimatice (raggi midollari, parenchima assiale), a cui si possono aggiungere in alcuni casi canali resiniferi. Nel caso delle fibre e dei vasi, gli unici elementi che rimangono della struttura cellulare sono le pareti, che presentano una struttura complessa e stratificata, formata essenzialmente da cellulosa, emicellulose, lignina ed in minor misura pectine. A queste componenti principali possono essere associate gomme, cere, resine, sali minerali, grassi. La parte esterna del legno, cioè quella ancora fisiologicamente attiva, è chiamata alburno, mentre l'interna, non più funzionale, è chiamata duramen; in questa parte i materiali nutritivi presenti negli elementi parenchimatici sono rimossi e le pareti sono impregnate da una serie di sostanze chiamate estrattivi, come tannini, coloranti, ecc. che ne riducono la potenziale biodegradabilità.

A livello chimico e strutturale esiste una notevole differenza fra il legno prodotto dalle Gimnosperme (legno dolce od omoxilo delle conifere) e quello prodotto dalle Angiosperme (legno duro o eteroxilo delle restanti piante). La percentuale delle varie componenti chimiche del legno varia in funzione delle specie (soprattutto fra Angiosperme e Gimnosperme), della parte del fusto considerata (alburno e duramen) e del grado di invecchiamento (stagionatura). Tali caratteristiche condizionano notevolmente la biodegradabilità dei diversi tipi di legno e quindi la loro durabilità.

2.1.2.3 Tessuti

Le fibre tessili possono essere di origine vegetale (es. cotone, canapa, lino, iuta, sisal) o animale (es. lana, seta). Le prime sono costituite prevalentemente da cellulosa a cui possono aggiungersi altre sostanze provenienti dalla materia prima e da materiali utilizzati durante la manifattura dei prodotti. Le seconde sono formate soprattutto da materiali di natura proteica (es. cheratina e sericina), ma analogamente possono essere presenti altri materiali collegati al prodotto di partenza o alle tecniche di manipolazione.

2.1.2.4 Pergamena e cuoio

Pergamena e cuoio derivano da tessuti di origine animale, in particolare da pelli di pecora o di capra; nel caso delle pergamene possono essere utilizzati embrioni di agnello o vitello e nel caso del cuoio anche pelli di bovini. Per la produzione di questi manufatti, i materiali erano trattati con diverse procedure che prevedevano la macerazione, raschiatura, tensione, essiccamento e, per il cuoio, la successiva concia con sostanze vegetali e minerali per evitare fenomeni di putrefazione dovuti all'attacco microbiologico.

Le componenti chimiche di base sono proteine quali collagene, cheratina, elastina, oltre a quantità minori di albumine e globuline o di sostanze lipidiche.

2.1.2.5 Dipinti mobili

I dipinti mobili (strati preparatori e pigmenti) sono formati da un supporto, che può essere costituito da tele, tavole lignee, pergamene, carte, lastre metalliche, a cui viene aggiunto uno strato preparatorio che varia in relazione al supporto ed alla tecnica esecutiva adottata (es. olio, tempera, acquerello) e che può essere costituito da colle, gomme, zuccheri, gelatine, oli, ecc.

2.1.2.6 Materiali plastici

Le materie plastiche sono prodotti artificiali costituiti da un polimero o copolimero, chiamato anche resina, a cui spesso vengono aggiunti composti chimici, in percentuali variabili (dall'1 al 50% ed oltre), quali plasticizzanti, agenti rinforzanti, stabilizzanti, antinfiamma, biocidi, antiossidanti, coloranti, ecc., capaci di conferire caratteri particolari ai prodotti finiti. Il settore industriale delle materie plastiche ha radici assai lontane: sintesi del nitrato di cellulosa (celluloide) (1846), seguito dall'acetato di cellulosa; produzione del polivinilcloruro (PVC) (1931) e successivamente del polietilene e del nylon; introduzione delle resine epossidiche, polimeri

fluorurati, policarbonati, fibre acriliche e poliestere del propilene (a partire dal 1946).

Oltre al caso delle pellicole fotografiche, costituite essenzialmente da questo tipo di materiale, le materie plastiche possono essere presenti tra gli elementi costituenti un oggetto di interesse storico-artistico o fra quelli aggiunti per motivi di restauro, come nel caso di materiali utilizzati per la protezione, il consolidamento o l'incollaggio. Nell'esecuzione di opere d'arte moderna e contemporanea non è raro che vengano utilizzati materiali a base di resine acriliche, viniliche o siliconiche, come ad esempio molti pigmenti, elementi di supporto o di decorazione e supporti per il ricollocamento di strappi di affreschi.

2.2 DANNO FISICO E CHIMICO

Da quanto abbiamo detto e ripeteremo nei prossimi capitoli l'impatto delle caratteristiche dell'atmosfera nella quale si trovano gli oggetti è determinante per la loro conservazione [2,9].

Generalmente sono le condizioni microclimatiche (temperatura, umidità e luce) che favoriscono o inibiscono l'instaurarsi di processi chimici e biologici di degrado.

Una ulteriore puntualizzazione deve essere fatta sui processi biologici in quanto gli esiti di questi processi sono di natura chimica (produzione e trasformazione di sostanze nuove o già presenti) e fisica (modificazioni del substrato e delle strutture).

Detto ciò dovrebbe essere evidente che i danni ai materiali, e di conseguenza agli oggetti, sono sostanzialmente danni fisici causati da processi di natura chimica e biologica [12,14,15].

2.2.1 Influenza dei parametri fisici e chimici

Umidità Relativa

Esistono tre categorie principali di deterioramento degli oggetti causato dall'umidità ambientale:

- influenza sulle dimensioni e sulla forma
- influenza sulla velocità delle reazioni chimiche deteriotene
- influenza sulle sorgenti (colonie di microrganismi) del deterioramento biologico.

Oggetti costituiti da materiali come il legno, le ossa, l'avorio, la pergamena, il cuoio, i tessuti, la paglia e parecchi generi di colla rigonfiano quando l'umidità relativa aumenta e restringono quando l'umidità diminuisce. Questi restringimenti possono causare

crepe e rotture nel legno e nell'avorio o fragilità dell'oggetto, come nella carta, nella pergamena e nel cuoio.

Viceversa quando l'umidità è alta, anche se non provoca immediati danni strutturali, favorisce lo sviluppo di microrganismi.

Per quanto riguarda il deterioramento di natura chimica, esistono quattro categorie principali di reazioni che possono provocare deterioramento o distruzione dei materiali presenti nel museo:

- inizio o accelerazione della corrosione nei metalli
- scolorimento del colore dei materiali, come per carta, stoffe, pitture
- aumento della fragilità di carta e tessuti
- deterioramento di alcuni materiali di vetro.

Riguardo agli *oggetti metallici instabili* con tracce di cloruri come ferro e bronzo è neces-

sario mantenere una UR inferiore al 50%, mentre per quelli più stabili (ferro e bronzo di buona qualità con patina stabile) è tollerata una UR anche superiore (55%) [20,66].

L'uso di sostanze essicanti è comunque consigliabile.

Per quanto riguarda l'*alterazione dei tessuti colorati*, è noto che cotone, lino, lana e seta sono più sensibili ad una umidità alta piuttosto che a quella bassa. Il valore consigliato per la loro corretta conservazione si aggira attorno al 45%. Particolare attenzione va posta al sistema di illuminazione (naturale o artificiale), causa primaria di scolorimento dei colori [37,79].

Il *vetro* può essere sensibile alla umidità in quanto gli ioni di sodio e potassio caratteristici della struttura del vetro, in presenza di umidità ed anidride carbonica, possono trasformarsi in idrossidi e carbonati, causando rotture sulla superficie che generano perdita di trasparenza e opacità (fig. 2.1).

L'umidità relativa per oggetti di vetro sensibile non deve superare il 40% [8,84]. Lo sviluppo di funghi è favorito quando l'umidità supera il 65%, specialmente in ambienti caldi e poco aerati [16].

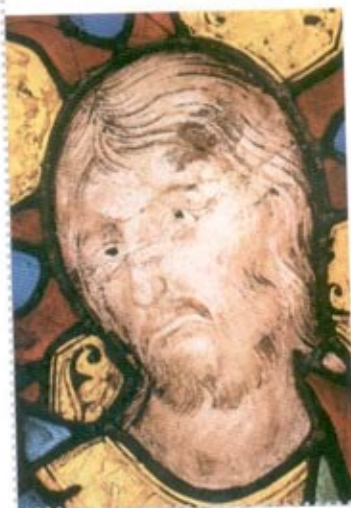


Fig 2.1 Dettaglio della vetrata di Duccio da Buoninsegna, Duomo di Siena con patine carbonatiche sulla superficie.

Inquinamento atmosferico

Il particolato sospeso può:

- provocare perdita di materiale superficiale
- favorire sviluppo di microrganismi

- lasciare tracce di inquinanti sulle superfici
- modificare l'aspetto estetico degli oggetti.

Per ridurre le polveri disperse nell'aria, si utilizzano filtri meccanici o elettrostatici da installare negli impianti di climatizzazione o di circolazione dell'aria [7,26,83]; per maggiori dettagli si veda il capitolo 3.

Fra i gas inquinanti l'ozono è il più importante e presente nei musei. Esso aumenta l'ossidazione dei metalli, la solfatazione dell'argento e del rame ed infine provoca fragilità e rotture di molti materiali costituiti da sostanze polimeriche (plastiche, gomme, adesivi, vernici).

I fattori che accelerano l'azione degli inquinanti sono: l'illuminamento eccessivo, l'esposizione alle radiazioni ultraviolette, la temperatura e l'umidità elevate.

Temperatura

La temperatura negli ambienti di esposizione e deposito è il terzo fattore importante di deterioramento dopo l'umidità e l'inquinamento. L'aumento di temperatura negli ambienti interni può causare molteplici processi di degrado:

- la velocità delle reazioni chimiche nei materiali è proporzionale alla temperatura (un aumento di T da 15 a 20°C può accelerare del 250% la fragilità della cellulosa in ambienti bui e ad umidità stabile)
- l'accelerazione dei processi fisici come i movimenti di vapore e aerosol (usualmente un aumento di 5 °C di temperatura aumenta del 100% questi meccanismi)
- la dilatazione dei materiali
- la disidratazione parziale dei materiali aumenta il livello di fragilità se l'umidità non viene mantenuta stabile.

Radiazione luminosa

È noto che i processi di deterioramento nei materiali richiedono energia. La luce è una delle maggiori sorgenti di energia nei musei [3,6,19,39]. L'illuminazione naturale e artificiale nei musei può:

- accelerare il deterioramento di molti materiali poiché agisce da catalizzatore nelle reazioni di ossidazione
- agevola i livelli di fragilità della cellulosa
- scolora, sbiadisce e macchia la carta
- altera i pigmenti colorati
- aumenta la temperatura delle superfici degli oggetti.

Si deve considerare che la luce naturale ha maggior quantità di radiazione ultravioletta rispetto a molti tipi di luce artificiale: pertanto un prerequisito è quello di filtrare la luce che entra dalle finestre.

Vibrazioni

Le principali cause di rumore sono la vicinanza ad aeroporti, stazioni ferroviarie, autostrade, traffico urbano, lavori in corso, sistemi di condizionamento e visitatori. Il livello di rumore per i musei non dovrebbe superare i 35 decibel.

Rumore e vibrazioni nei musei possono causare:

- danno o distruzione di cristalli e vetri in condizioni instabili
- distacco di parti instabili
- fastidio ai visitatori.

2.2.2 Deformazione delle strutture lignee

Uno dei problemi più frequenti nella conservazione è la deformazione delle strutture lignee che a loro volta causano altri danni a componenti diverse dell'oggetto o del manufatto come lo strato pittorico o gli stucchi [31,32].

È molto importante conoscere i processi che regolano l'assorbimento di acqua da parte del legno e le deformazioni che il legno subisce.

Il legno si espande e si contrae mentre scambia il vapore acqueo con l'aria circostante. Il cambiamento dimensionale dipende dal cambiamento di umidità relativa ed anche dall'orientamento del taglio del legno.

La figura 2.2 mostra la variazione del contenuto idrico del legno all'aumentare della temperatura. Quando ad un legno con un teno-

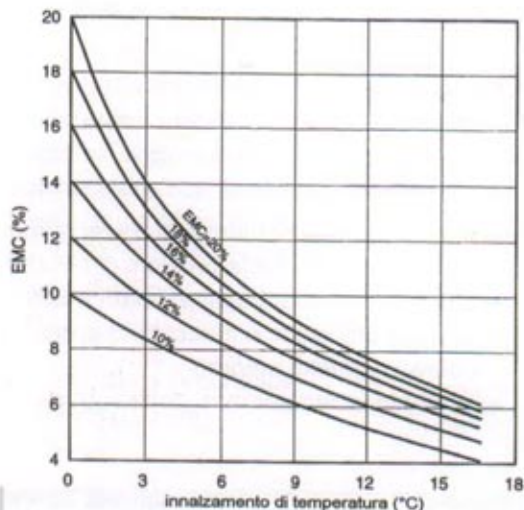


Fig 2.2 Variazione del contenuto idrico (EMC) nel legno quando viene innalzata la sua temperatura iniziale.

Fig 2.3 Contenuto di acqua nel legno. Le curve radiale e tangenziale si riferiscono a 2 tavole con taglio orientato in maniera diversa rispetto al tronco dal quale sono state ricavate.

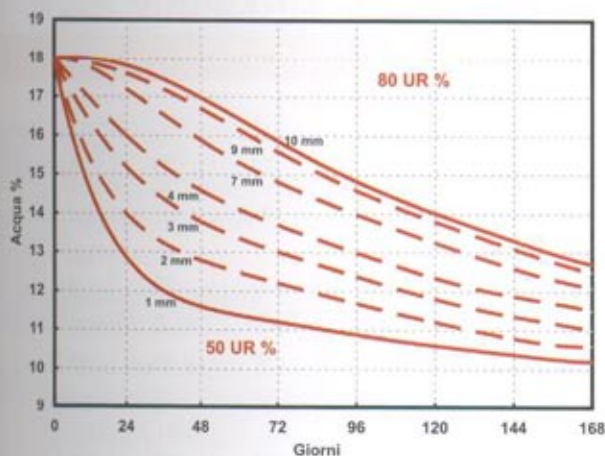
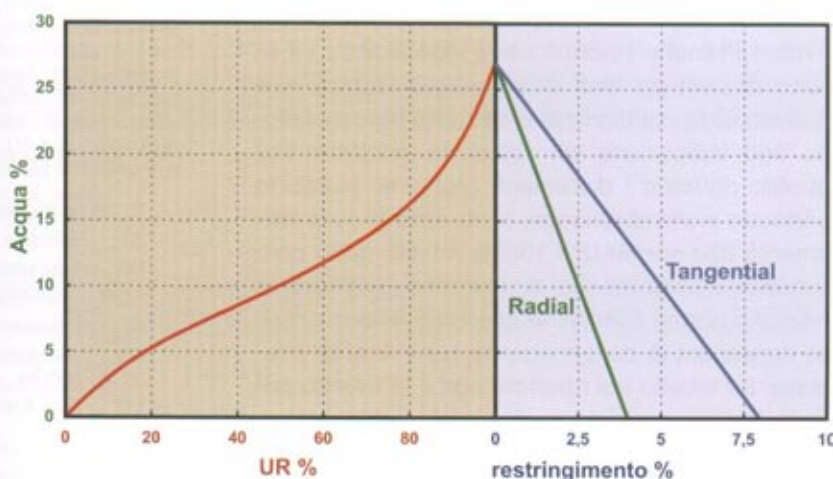


Fig 2.4 Tasso di perdita d'acqua nel tempo, di una tavola di legno di diversa spessore.

re di EMC di 20% viene innalzata la temperatura di 15 °C rispetto a quella che aveva inizialmente, il valore di EMC diminuisce a 6,5%.

Nel grafico di figura 2.3 le curve di contenuto d'acqua-UR dell'acqua sono semplificate in una singola curva e il grafico a destra mostra il restringimento di legno dalle condizioni di saturazione. Le linee di restringimento sono quasi diritte, e indicano che le dimensioni di un pezzo di legno cambiano in proporzione al contenuto idrico, piuttosto che alla UR. Ci sono due linee, perché il restringimento nel senso tangenziale è quasi due volte più grande del restringimento nel senso radiale rispetto al tronco dell'albero dal quale è stata ricavata la tavola. Il restringimento nel senso longitudinale (assiale) è molto piccolo e non è indicato sullo schema.

Il tasso di perdita d'acqua di una tavola (fig. 2.4), può essere controllato. Il grafico mostra il contenuto idrico a profondità diverse dalla superficie del pannello di legno spesso 10 mm ed impermeabile da un lato. Il pannello in primo luogo è stato portato ad equilibrio con 80% di UR. Il grafico inizia quando il pannello è disposto improvvisamente in aria quasi calma (1 m/s) a 50% di UR. Il legno impiega circa 50 giorni per arrivare a metà equilibrio con la UR più bassa.

Attraverso questi grafici si ha la percezione concreta del meccanismo di equilibrio idrico fra legno e umidità atmosferica.

2.3 PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER LA CONSERVAZIONE

I valori indicativi riportati nella tabella 2.1 a) e b) sono desunti da fonti di letteratura tecnica non mutuamente comparabili e pertanto rappresentano una indicazione sui valori da adottare. Per quanto riguarda i documenti grafici su supporto cartaceo e membranaceo, è necessario fare riferimento alla norma UNI 10586. All'atto della consultazione della tabella, si dovrebbe verificare se esistono norme specifiche che stabiliscono precise condizioni di conservazione per i temi di interesse. La tabella qui riportata non è la tabella ori-

1 Adottare un valore possibilmente fisso scelto tra gli estremi; **2** Nel caso di materiale in tensione sono da preferirsi i valori di umidità; **3** Nel caso di cere supportate, fare riferimento alle indicazioni relative; **4** NR = Non rilevante; **5** Solo per consultazione; **6** Valori di umidità relativa molto specifici (dipende dai campioni); **7** Nel caso di oggetti costituiti da parti metalliche diverse tra loro saldate, oscillazioni di temperatura possono produrre effetti dannosi; **8** In mancanza di indicazioni specifiche del produttore; **9** Allo scopo di prevenire attacchi biologici sono necessarie temperature ridotte (dell'ordine di 4 °C), immediati trattamenti antisettici e/o condizioni particolari di conservazione.

T_o temperatura valore consigliato °C
 ΔT_{max} differenza relativa al valore massimo °C
 UR_o umidità relativa valore consigliato %
 ΔUR_{max} differenza relativa al valore massimo %
 E_{max} illuminamento valore massimo lx
 UV_{max} radiazione ultravioletta valore massimo mW/lm
 LO_{max} dose di luce annuale Mlx.h/anno

Tab 2.1a

CATEGORIE DI OGGETTI/MATERIALI E PARAMETRI DI RIFERIMENTO

BENI DI INTERESSE STORICO ED ARTISTICO	T_o	ΔT_{max}	UR_o^1	ΔUR_{max}	E_{max}	UV_{max}	LO_{max}
MATERIALI/OGGETTI DI NATURA ORGANICA							
Manufatti artistici di carta, cartapesta, veline, tappezzerie	da 18 a 22 ²	1,5	da 40 a 55	6	50	75	0,2
Tessuti, velari, tendaggi, tappeti, tappezzerie in stoffa, arazzi, seta, costumi, abiti, paramenti religiosi, materiali in fibra naturale, sisal, juta	da 19 a 24	1,5	da 30 a 50	6	50	75	0,2
Cere, cere anatomiche ³	< 18	NR ⁴	NR ⁴	NR ⁴	150	75	-
Erbari e collezioni	da 21 a 23	1,5	da 45 a 55	2	50	75	0,2
Collezioni entomologiche	da 19 a 24	1,5	da 40 a 60	6	50	75	0,2
Animali e organi anatomici conservati in formalina	da 15 a 25	-	NR ⁴	NR ⁴	50	75	0,2
Animali, organi anatomici essiccati, mummie	da 21 a 23	1,5	da 20 a 35	-	50	75	0,2
Pellicce, piume, animali ed uccelli impagliati	da 4 a 10	1,5	da 30 a 50	5	50	75	0,2
Disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo	da 19 a 24	1,5	da 45 a 60	2	50	75	0,2
Collezioni etnografiche, maschere, cuoio, indumenti di cuoio	da 19 a 24	1,5	da 45 a 60	6	50	75	0,2
Dipinti su tela, pitture a olio su tela e canovaccio, tempere, guazzi	da 19 a 24	1,5	da 40 a 55	6	150	75	0,5
Documenti archivistici su carta o pergamena, papiri, manoscritti, volumi a stampa, collezioni filateliche	da 13 a 18	-	da 50 a 60	5	150 ⁵	75 ⁵	-
Legature di libri con pelle o pergamena	da 19 a 24	1,5	da 45 a 55	6	50	75	0,2



BENI DI INTERESSE STORICO ED ARTISTICO	T_0	ΔT_{max}	UR_0^1	ΔUR_{max}	E_{max}	UV_{max}	LO_n
MATERIALI/OGGETTI DI NATURA ORGANICA							
Lacche, mobili intarsiati, decorati o laccati	da 19 a 24	1,5	da 50 a 60	4	50	75	0,5
Sculture policrome di legno, legno dipinto, pitture su legno, icone, pendole di legno, strumenti musicali di legno	da 19 a 24	1,5	da 50 a 60	4	50	75	0,5
Sculture di legno non dipinte, oggetti di vimini, pannelli di legno o corteccia	da 19 a 24	1,5	da 45 a 60	4	150	75	0,5
MATERIALI/OGGETTI DI NATURA INORGANICA							
Porcellane, ceramiche, grès, terracotta, tegole non da scavo e da scavo se demineralizzate	NR ⁴	-	NR ⁴	10	NR ⁴	-	-
Pietre, rocce, minerali, meteoriti (porosi) stabili	da 19 a 24	-	da 40 a 60	6	NR ⁴	-	-
Mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, meteoriti (non porosi), fossili e collezioni di pietre ⁶	da 15 a 25	-	da 20 a 60	10	NR ⁴	-	-
Metalli, metallilevigati, leghe metalliche, argenti, armature, armi, bronzi, monete, oggetti in rame, stagno, ferro, acciaio, piombo, peltri ⁷	NR ⁴	-	< 50	-	NR ⁴	-	-
Metalli con siti di corrosione attivi	NR ⁴	-	< 40	-	NR ⁴	-	-
Ori	NR ⁴	-	NR ⁴	-	NR ⁴	-	-
Gesso	da 21 a 23	1,5	da 45 a 55	2	150	75	0,5
Vetri instabili, iridescenti, sensibili, mosaici di vetro sensibili	da 20 a 24	1,5	da 40 a 45	-	150	75	0,5
OGGETTI MISTI							
Pittura murale, affreschi, sinopie (staccate)	da 10 a 24	-	da 55 a 65	-	NR ⁴	-	-
Pitture murali a secco (staccate)	da 10 a 24	-	da 50 a 45	-	150	75	0,5
Avori, corna, collezioni malacologiche, uova, nidi, coralli	da 19 a 24	1,5	da 40 a 60	6	150	75	0,5
Dischi fonografici	da 10 a 21	-	da 40 a 55	2	-	-	-
Fibre sintetiche	da 19 a 24	-	da 40 a 60	-	50	75	0,5
Film, fotografie a colori	da 0 a 15	-	da 30 a 45	-	50	75	0,5
Film, fotografie in bianco e nero	da 0 a 15	-	da 30 a 45	-	150	75	0,5
Nastri magnetici (esclusi nastri per computer e videotape)	da 5 a 15	-	da 40 a 60	-	-	-	-
Oggetti di materiali organici provenienti da zone di scavo umide (prima del trattamento)	< 4	-	in aria satura	-	-	-	-
Materie plastiche	da 19 a 24	-	da 30 a 50	-	< 300	75	-

NOTA Le condizioni ambientali qui riportate per oggetti di natura organica e misti, tengono conto solo della natura chimico-fisica del materiale costituente. In certi casi mantenere l'oggetto nelle condizioni ambientali riportate, oppure portarlo quando proviene da condizioni diverse, risultare molto pericoloso. Per proporre un valore di UR_0 è indispensabile tenere conto almeno dei seguenti fattori: l'invecchiamento e gli eventuali trattamenti subiti dai materiali prima della lavorazione, le condizioni ambientali alle quali il manufatto è stato sottoposto nel corso del tempo, le eventuali situazioni di sollecitazione meccanica a cui è soggetto.

ginale della norma UNI 10829 completa delle note a piè di pagina e pertanto suggeriamo di acquisire la norma presso UNI, Milano o al sito web www.uni.com/it/.

Le tabelle vanno consultate come riferimento delle condizioni termoigrometriche e di luce presenti nell'ambiente nel quale è posto l'oggetto. Le condizioni ambientali richieste per la corretta conservazione dei beni culturali possono subire variazioni a seconda della nazionalità della istituzione ma i valori suggeriti nei vari paesi variano moderatamente. Ulteriori informazioni sono riportate nel capitolo dedicato alla normativa nazionale ed internazionale relativa alla conservazione dei beni culturali.

2.4 DANNO BIOLOGICO

2.4.1 Microrganismi

Come abbiamo già accennato, tutti i processi di attacco biologico sui materiali vengono ricondotti a processi chimici e fisici, in quanto il danno è sempre di natura chimica accompagnato o meno da modificazioni del substrato come sollevamento e/o caduta di strati di materiale, deformazioni, cambiamenti del colore [16, 17].

Riteniamo opportuno per praticità riassumere nella tabella 2.2 i principali gruppi di biodeteriogeni dei materiali costitutivi i

Tab 2.2

PRINCIPALI BIODETERIOGENI DELLE DIVERSE CLASSI DI MATERIALI

ORGANISMI	Batteri autotrofi	Batteri eterotrofi	Funghi	Alghe	Licheni
MATERIALI ORGANICI					
Legno	×	▶▶▶	▶▶▶▶	▶	▶
Carta	×	▶▶▶	▶▶▶▶	×	×
Tessuti	×	▶▶	▶▶ ▶▶▶▶	×	×
Pergamena cuoio	×	▶▶	▶▶ ▶▶▶▶	×	×
Dipinti mobili	×	▶▶	▶▶ ▶▶▶▶	×	×
Materiali sintetici	×	▶▶	▶▶	×	×
MATERIALI INORGANICI					
Materiali lapidei	▶▶▶	▶▶	▶▶	▶▶▶▶	▶▶▶▶
Dipinti murali	▶▶	▶▶	▶▶▶	▶▶▶▶	▶▶
Vetro	▶▶	×	×	▶▶	▶▶
Metalli	▶▶	×	×	▶▶	▶

LEGENDA × assente ▶ raro ▶▶ occasionale ▶▶▶ comune ▶▶▶▶ molto frequente ■ inclusi gli attinomiceti ● inclusi i cianobatteri

Da CANEVA G., NUGARI M.P., MAGGIO O., 1998: La componente biologica dell'aria come potenziale biodeteriogeno, in *Aerobiologia e beni culturali. Metodologie e tecniche di misura*. A cura di MANDRIOLI P., CANEVA G., Nardini Editore, Fiesole, pp. 15-39

beni culturali che si possono rilevare nelle normali condizioni di conservazione e la loro relativa frequenza. Ciò potrà essere utile nel caso si debbano programmare interventi di disinfestazione e pulitura e scegliere il tipo di trattamento da adottare.

I microrganismi che più comunemente sono riconosciuti come causa di alterazione dei materiali organici e i danni da essi determinati sono schematicamente evidenziati nella tabella 2.3.

Tab 2.3

DANNI PRODOTTI DA ATTIVITÀ BIOLOGICA SUI MATERIALI ORGANICI



GRUPPI DI ORGANISMI	GENERI COINVOLTI	DANNI INDOTTI
CARTA		
Batteri eterotrofi	<i>Cytophaga, Sporocytophaga, Cellvibrio, Cellfalcicula</i>	Erosioni, macchie, variazioni delle caratteristiche meccaniche
Funghi: Ascomiceti, Deuteromiceti, Zigomiceti	<i>Chaetomium, Alternaria, Aspergillus, Penicillium, Myrothecium, Stachybotrys, Stemphylium, Trichoderma, Trichothecium, Ulocladium, Mucor, Rhizopus</i>	Erosioni, macchie, pigmentazioni, variazioni caratteristiche meccaniche
LEGNO		
Batteri eterotrofi	<i>Pseudomonas, Achromobacter, Cytophaga, Sporocytophaga, Sorangium, Vibrio, Cellvibrio, Cellfalcicula</i>	Erosioni, variazioni caratteristiche strutturali e meccaniche
Funghi: Basidiomiceti, Ascomiceti, Deuteromiceti	<i>Coriulus, Fomes, Pholiota, Pleurotus, Polystictus, Serpula, Poria, Coniophora, Chaetomium, Xylaria Hypoxylon, Alternaria, Coniothyrium, Humicola, Stemphylium, Stysanus, Chlorociboria, Aspergillus, Aureobasidium, Fusarium, Penicillium, Trichoderma</i>	Carie bianca, bruna e soffice, variazioni caratteristiche meccaniche, pigmentazioni, macchie
FIBRE DI ORIGINE VEGETALE		
Batteri eterotrofi, raramente anche attinomiceti	<i>Sporocytophaga, Cellvibrio, Cellfalcicula, Microspora, Clostridium</i>	Erosioni, macchie, decolorazioni, perdita caratteristiche strutturali e meccaniche
Funghi: Deuteromiceti, Ascomiceti, Zigomiceti	<i>Alternaria, Aspergillus, Fusarium, Memnoniella, Myrothecium, Penicillium, Scopulariopsis, Stachybotrys, Stemphylium, Chaetomium, Neurospora, Mucor, Rhizopus</i>	Erosione da superficiale a profonda, macchie, decolorazioni, perdita caratteristiche strutturali e meccaniche
FIBRE DI ORIGINE ANIMALE		
Batteri eterotrofi inclusi gli Attinomiceti	<i>Bacillus, Proteus, Pseudomonas, Streptomyces</i>	Macchie, decolorazioni, erosioni, perdita caratteristiche strutturali e meccaniche
Funghi: Deuteromiceti	<i>Aspergillus, Fusarium, Trichoderma, Trichophyton, Microsporum</i>	Macchie, decolorazioni, erosioni, perdita caratteristiche strutturali
PERGAMENA E CUOIO		
Batteri eterotrofi	<i>Bacillus, Pseudomonas, Sarcina, Bacteroides, Clostridium</i>	Erosioni, macchie, perdita integrità strutturale
Funghi: Deuteromiceti, Ascomiceti	<i>Aspergillus, Cladosporium, Fusarium, Penicillium, Scopulariopsis, Trichoderma, Paecilomyces, Ophiostoma, Neurospora</i>	Erosioni, perdita integrità strutturale, rigidità, macchie, decolorazioni
MATERIALI SINTETICI		
Batteri eterotrofi inclusi gli Attinomiceti	<i>Pseudomonas, Nocardia, Brevibacterium, Arthrobacter, Cellulomonas, Streptomyces</i>	Variazioni delle caratteristiche fisico-chimiche
Funghi: Ascomiceti, Deuteromiceti	<i>Chaetomium, Aspergillum, Penicillium, Trichoderma, Cladosporium</i>	Variazioni delle caratteristiche fisico-chimiche, pigmentazioni, macchie

Per quanto riguarda i materiali inorganici abbiamo già sottolineato che la maggior parte dei danni deriva da attacco di sostanze inquinanti e formazione di patine e strati cristallini derivati da cicli di condensazione ed evaporazione di vapor d'acqua sulle superfici. Gli organismi che più comunemente sono riconosciuti come causa di alterazione dei materiali inorganici e i danni da essi determinati sono schematicamente evidenziati nella tabella 2.4.

Tab 2.4

ALTERAZIONI BIOLOGICHE DEI MATERIALI INORGANICI



GRUPPI DI ORGANISMI	GENERI COINVOLTI	DANNI INDOTTI
MATERIALI LAPIDEI		
Batteri autotrofi	<i>Thiobacillus, Desulfovibrio, Nitrosomonas, Nitrosovibrio, Nitrosococcus, Nitrospora, Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospira</i>	Croste nere, patine, esfoliazioni, polverizzazioni
Batteri eterotrofi e attinomiceti	<i>Bacillus, Nocardia, Streptomyces</i>	Croste nere, patine, esfoliazioni, polverizzazioni
Funghi: Deuteromiceti	<i>Cladosporium, Alternaria, Stachybotrys, Aspergillus, Penicillium, Phoma</i>	Patine, macchie, pitting
Alghe: Chlorophyceae, Cianobatteri	<i>Chlorella, Chlorococcum, Haematococcus, Scenedesmus, Stichococcus, Ulothrix, Chroococcus, Gloeocapsa, Lyngbya, Nostoc, Oscillatoria, Scytonema, Myxosarcina</i>	Patine e pellicole di vario colore e consistenza
Licheni	<i>Acarospora, Aspicilia, Caloplaca, Candelariella, Diploschistes, Lecanora, Lecidea, Verrucaria, Xanthoria</i>	Incrostazioni, esfoliazioni, pitting
Muschi e piante superiori	<i>Eurhynchium, Eucladium, Parietaria, Hedera, Ficus, Capparis, Cymbalaria, Sonchus, Anthriscum, Ailanthus, Ulmus, Robinia, Rubus</i>	Incrostazioni, erosione superfici, fratturazioni, distacco
VETRO		
Batteri autotrofi	<i>n.d.</i>	Erosioni, macchie, opacizzazioni
Alghe	<i>n.d.</i>	Patine, erosioni
Funghi: Deuteromiceti	<i>n.d.</i>	Erosioni, macchie, opacizzazioni
Licheni	<i>Diploicia, Pertusaria, Lepraria, Verrucaria Xanthoria</i>	Erosioni, incrostazioni, pitting opacizzazioni, iridescenza
METALLI		
Batteri autotrofi	<i>n.d.</i>	Erosioni
Alghe	<i>n.d.</i>	Patine

n.d. = non determinato

Da CANEVA G., NUGARI M.P., MAGGIO O., 1998: La componente biologica dell'aria come potenziale biodeteriogeno, in *Aerobiologia e beni culturali. Metodologie e tecniche di misura*. A cura di MANDRIOLI P., CANEVA G., Nardini Editore, Fiesole, pp. 15-39

Nella tabella 2.5 vengono riportate le condizioni microclimatiche per la prevenzione di attacchi microbiologici su materiali organici suggerite nel Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei".

Tab 2.5

CONDIZIONI MICROCLIMATICHE PER LA PREVENZIONE DI ATTACCHI MICROBIOLOGICI SU MATERIALI ORGANICI



MANUFATTI ORGANICI		Umidità relativa (%)	max variaz. giornaliera UR	Temperatura (°C)	max variaz. giornaliera T
DIPINTI	su tela	40-55	6	19-24	1,5
	su tavola	50-60	2	19-24	1,5
LEGNO	archeologico bagnato-	50-60	2	19-24	1,5
		50-60	2	19-24	1,5
			< 4*		
CARTA		40-55	6	18 - 22	1,5
	pastelli, acquerelli	< 65		< 10	
	libri e manoscritti	45-55	5	< 21	3
	materiale grafico	45-55	5	< 21	3
CUOI, PELLI E PERGAMENE		40-55	5	4-10	1,5
TESSUTI	di natura cellulosica	30-50	6	19-24	1,5
	di natura proteica	>50-55		19-24	1,5
COLLEZIONI ETNOGRAFICHE		20-35	5	15-23	2
MATERIALI STABILI		35-65		15-30	

* La temperatura non deve raggiungere 0°C.

2.4.2 Insetti

Fra i danni di tipo biologico dobbiamo segnalare il danno causato dalla presenza di insetti soprattutto per quanto riguarda i beni librari.

Gli insetti infatti come biodeteriogeni hanno un ruolo importante poichè danneggiano soprattutto i materiali cellulosici come le stampe su carta, nutrendosi anche di gelatina, di amido e colle di varia origine.

Gli insetti che più comunemente danneggiano il materiale fotografico e carta sono:

- Tisanuri con il *Lepisma saccharina* (pesciolino d'argento) che si nutre della carta, della gelatina e anche della colla creando piccole erosioni superficiali a contorno irregolare;
- Blattoidei con la *Blattella germanica* e la *Blatta orientalis* che creano erosioni superficiali a margini irregolari;
- Psocotteri chiamati comunemente "pidocchi del libro", con il *Liposcelis divinatorius* che si nutre di colla e gelatina;
- Coleotteri Dermestidi con il *Dermestes maculatus*, le cui larve si nutrono di gelatina; i Coleotteri Lictidi, con il *Lyctus linearis* che occasionalmente danneggia l'emulsione fotografica e i Coleotteri Ptinidi come il *Ptinus fur* insetto notturno la cui larva si nutre di colla e gelatina (tab. 2.6)