

Materiali
e Ricerche7
IBCISTITUTO PER I BENI ARTISTICI
CULTURALI E NATURALI
DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNAISAC-CONSIGLIO NAZIONALE
DELLE RICERCHE

Prevenire conviene, anche nel settore dei beni culturali.

Gli oggetti e le opere conservati nei musei, nelle biblioteche, negli archivi storici, che costituiscono nel loro insieme il nostro patrimonio culturale, sono tanto preziosi quanto fragili. Vulnerabili agli attacchi del tempo, sensibili alle condizioni ambientali e a fattori quali la luce, il calore, l'umidità, le polveri atmosferiche, la presenza umana.

Da alcuni anni a questa parte, il grande tema della conservazione dei beni culturali viene declinato secondo un nuovo punto di vista che privilegia l'aspetto della prevenzione, intesa come insieme delle misure da adottare per salvaguardare gli oggetti e le collezioni da possibili danni.

Nato dalla collaborazione tra Istituto Beni Culturali della Regione Emilia-Romagna e Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima di Bologna, questo volume si propone di fornire le conoscenze scientifiche e tecniche di base per comprendere meglio la complessità dei meccanismi di invecchiamento e degrado degli oggetti e dei materiali e nello stesso tempo segnalare le "buone pratiche" da seguire per la loro salvaguardia e protezione.

Il microclima del museo, l'invecchiamento dei materiali, la qualità dell'aria indoor, il monitoraggio dell'ambiente, i macro e i microambienti, la movimentazione delle opere, la gestione degli ambienti e dei visitatori, sono alcuni degli argomenti trattati.

Il volume è rivolto a quanti operano concretamente nel settore della gestione e tutela dei beni culturali. Per questo ogni capitolo prevede spazi di approfondimento e di sintesi dei temi trattati ed è corredato da una sezione finale che offre suggerimenti per risolvere i problemi pratici che si incontrano nella gestione quotidiana di oggetti e collezioni.

Oggetti nel tempo. Principi e tecniche
di conservazione preventiva

ISBN 978-88-491-2866-6



€ 24,00



Oggetti nel tempo.
Principi e tecniche
di conservazione
preventiva

Materiali e ricerche

ISTITUTO PER I BENI ARTISTICI
CULTURALI E NATURALI
DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

In copertina:

Museo del Risorgimento di Ravenna,
Archivio Fotografico dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali

© 2007 Materiali e Ricerche
Istituto per i beni artistici culturali e naturali
della Regione Emilia-Romagna
Via Galliera 21 - 40121 Bologna
www.ibc.regione.emilia-romagna.it

© 2007 CLUEB
Via Marsala, 31
40126 Bologna
Tel. 051 220736 - Fax 051 237758
www.clueb.com

ISBN 978-88-491-2866-6

Oggetti nel tempo. Principi e tecniche di conservazione preventiva

OGGETTI NEL TEMPO. Principi e tecniche di conservazione preventiva

A cura dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna,
Servizio Musei e Beni Culturali



Il volume è stato realizzato nell'ambito del *Progetto MUSA - Rete regionale intermuseale per la gestione a distanza della conservazione dei beni artistici*, da un gruppo di lavoro composto da rappresentanti dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali - Servizio Musei e Beni Culturali (IBACN) e del CNR - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) di Bologna.

Composizione del gruppo di lavoro

Laura Carlini

Responsabile del Servizio Musei e Beni Culturali dell'IBACN

Luisa Masetti Bitelli e Antonella Salvi

Responsabili scientifiche del Progetto MUSA per l'IBACN

Paolo Mandrioli

Responsabile scientifico del Progetto MUSA per il CNR-ISAC

Paola De Nuntiis, Chiara Guaraldi, Alessandro Monco

Collaboratori al Progetto MUSA per il CNR-ISAC

Hanno inoltre collaborato

Marta Cuoghi Costantini *IBACN*

Iolanda Silvestri *IBACN*

Testi scientifici e tecnici a cura del CNR-ISAC

Paola De Nuntiis (Cap. 2, 3, 4, 8)

Chiara Guaraldi (Cap. 6, 7, 8, 9)

Paolo Mandrioli (Cap. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)

Alessandro Monco (Cap. 3, 4, 9, 10)

Crediti dati tecnici

Airnova, Allemano Metrology, Bresciani, Eurotron Instruments, LSI, MTX, PCE-Italia, RGI, Gruppo Ribes, Siap, Soluzioni Museali, Tecno-el, TCR Tecora, Unitec, Gruppo Veroca

Crediti immagini

Long Life for Art, Fondazione Maugeri, Purafil, Mart, Lightcheck, Campodivolo, Museumspartner, Tecno.el, LSI-Lastem, Archivio Fotografico dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna

Editing

Isabella Fabbri *IBACN*

Grafica

Cocicom, Bologna

Indice

Presentazione	VIII
Prevenire conviene	X
Il Progetto MUSA. Una rete regionale per buone pratiche di conservazione	XIII
 1. Il microclima del museo	3
1.1 La macchina termodinamica	4
1.2 I parametri fisici dell'ambiente	8
1.2.1 Temperatura e Calore	8
1.2.2 Umidità	13
1.2.3 Ventilazione	17
1.2.4 Luce	18
1.2.5 Vibrazioni	24
1.3 I più importanti fenomeni fisici	25
1.3.1 Effetti del calore	25
1.3.2 Condensazione ed evaporazione	26
1.3.3 Effetti della luce	28
 2. L'invecchiamento dei materiali	35
2.1 Le tipologie	36
2.1.1 Materiali inorganici	36
2.1.2 Materiali organici	36
2.2 Danno fisico e chimico	39
2.2.1 Influenza dei parametri fisici e chimici	39
2.2.2 Deformazione delle strutture lignee	42
2.3 Parametri di riferimento per la conservazione	44

2.4 Danno biologico	46
2.4.1 Microrganismi	46
2.4.2 Insetti	49
2.4.3 Materiali inorganici	51
2.4.4 Materiali organici	54
3. La qualità dell'aria indoor	69
3.1 Polveri, vapori e gas	70
3.2 La misura degli inquinanti	79
3.3 Il trattamento dell'aria	81
3.4 Comfort umano e conservazione	84
4. Monitoraggio dell'ambiente	91
4.1 Strumenti e misure	92
4.1.1 Misura dei parametri fisici, chimici e biologici	93
4.2 Acquisizione ed elaborazione dei dati	101
4.2.1 Centraline di acquisizione dati	101
4.2.2 Rilievi microclimatici per studio preliminare	103
4.2.3 Monitoraggio microclimatico di routine	106
4.2.4 Elaborazione dei dati	108
4.2.5 Monitoraggio del museo a distanza	110
5. I macro e i microambienti	123
5.1 Collezioni permanenti, archivi e depositi	125
5.1.1 Controllo dei depositi	130
5.2 Vetrine, teche e climabox	131
5.2.1 Controllo delle vetrine	131
5.2.2 Materiali da costruzione per vetrine e container-deposito	140
6. La movimentazione delle opere per le esposizioni temporanee	147
6.1 Il trasporto e l'acclimatamento delle opere	150
6.2 Documentazione necessaria alla preparazione ed allo svolgimento di una mostra temporanea	154
6.3 Movimento di materiali particolarmente sensibili	157
6.3.1 Prestito di dipinti su tavola	157
6.3.2 Prestito di disegni a pastello	159
6.4 La dichiarazione di conformità microclimatica	160

7. La gestione degli ambienti e dei visitatori ..	169
7.1 Operatori e visitatori	170
7.2 Pulizia e manutenzione.	174
 8. Norme e linee guida	179
8.1 Introduzione	180
8.2 Norme e leggi in Italia	182
8.2.1 Leggi.	182
8.2.2 Norme tecniche	187
8.3 Norme e linee guida internazionali	193
8.3.1 Linee guida.....	193
8.3.2 Norme tecniche	196
 9. Casi di studio	199
 10. Scelta della strumentazione di monitoraggio	237
 Appendice A Uso dello psicrometro	248
 Appendice B Grandezze e misure	249
 Referenze Bibliografiche	250

ALBERTO RONCHI

Assessore alla Cultura, Sport, Progetto Giovani
della Regione Emilia-Romagna

Tutti i cittadini ci rimetterebbero se le opere d'arte della nostra regione fossero rovinate irrimediabilmente. Pare scontato, ma è quello che rischia realmente di accadere se i musei che le ospitano non si impegnano a mantenere le condizioni ottimali di conservazione del patrimonio.

Ragionare in termini di prevenzione è plausibilmente l'unica strada da percorrere per evitare il degrado e anche per non sprecare l'impegno profuso dalle amministrazioni nel caso abbiano portato a compimento interventi di restauro.

Le stesse opere d'arte restaurate infatti, riportate ai fasti originari dopo anni di intenso lavoro, se non propriamente conservate rischiano di imboccare nuovamente la strada del declino, con uno spreco notevole di energie, risorse umane e denaro.

La convenienza di un sistema di prevenzione, di fatto, si riscontra anche in termini di spesa pubblica. Restaurare, quando possibile, costa infatti caro, perché occorrono molte giornate di lavoro e tecnologie all'avanguardia. Meglio allora intervenire a monte, evitando che le opere d'arte prendano la via del degrado e puntare perciò sulla conservazione preventiva.

È sulla base di queste riflessioni che l'Istituto Beni Culturali dell'Emilia-Romagna ha ideato e messo in opera MUSA, una rete intermuseale ad estensione regionale di monitoraggio indoor dei valori ambientali di temperatura e umidità relativa, delle polveri, dell'illuminazione e dei componenti biologici la cui gestione a distanza è affidata al CNR- ISAC di Bologna, partner tecnico-scientifico dell'iniziativa. Si tratta di un progetto unico a livello nazionale, pionieristico per qualità ed estensione, avviato in fase sperimentale nel 2002 e che attualmente vanta oltre una ventina di istituzioni culturali in rete.

Oggi il progetto si arricchisce di questa pubblicazione, che ha le caratteristiche di un manuale d'uso per musei, biblioteche e archivi a cura dell'Istituto Beni Culturali in collaborazione con il CNR - ISAC, indirizzato agli addetti ai lavori: Sindaci, Assessori ai beni culturali, Soprintendenti, Direttori dei musei, tecnici della conservazione, ma anche a tutti coloro che hanno a cuore le sorti del patrimonio conservato sul territorio regionale.

EZIO RAIMONDI

Presidente dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali
della Regione Emilia-Romagna

Il tempo, si sa, agisce in modo ambivalente sugli oggetti museali e sui beni culturali: ne accresce il valore, ne esalta l'unicità, e fa dei dipinti, dei libri, dei tessuti, dei reperti delle nostre istituzioni culturali altrettante testimonianze preziose di arte e di cultura, giunte sino a noi. Preziose, ma insieme fragili: perché il tempo lavora allo stesso modo per distruggere, insidiando l'apparente solidità dei materiali, mettendo a nudo la caducità delle tecniche nelle loro laboriose intenzioni unitarie. Così l'oggetto-monumento si scopre vulnerabile come un vecchio corpo, su cui grava l'accumulo degli anni, anche se la sua percezione può essere quella di una rinnovata e sorprendente giovinezza.

E non vi è dubbio che l'azione del tempo è tanto più aggressiva oggi con l'accelerazione impressa dalla modernità in un contesto ambientale sempre più esposto al processo degenerativo dell'inquinamento. Proprio per questo il problema della conservazione, di cui sono in primo luogo responsabili le istituzioni culturali, non può essersi risolto soltanto ricorrendo al restauro, inteso come postumo atto riparatorio che ripristina una condizione di esistenza ipoteticamente ottimale degli oggetti, ma deve essere affrontato in una prospettiva più ampia e razionale: non per nulla in questi ultimi anni si è venuta affermando, come insegnano gli studiosi più avvertiti, una nozione più complessa di conservazione, che ha il suo centro nella prevenzione. Prevenire significa allora vigilare quotidianamente perché la vita misteriosa degli oggetti, che formano il nostro patrimonio culturale e la nostra tradizione, stratificata e visibile, possa continuare senza fratture e senza danni, in un equilibrio dinamico che tenga sotto controllo i pericoli potenzialmente legati a fattori come la luce, il calore, l'umidità, le polveri. Le tecnologie moderne possono dare ora un aiuto decisivo, ma come sempre sta a noi agire con adeguata e tempestiva sensibilità, consapevolezza, competenza. Ciò che occorre è insieme una filologia aperta a tutti i contributi tecnico-scientifici, pluridisciplinare e specifica, che riconosca l'interdipendenza di natura e storia e superi per sempre l'alternativa, che ci viene dal passato, tra le cosiddette due culture. Di qui la necessità di una nuova formazione, di un insegnamento che corrisponda a un'idea integrata e puntuale di restauro. Proprio in quest'ottica, tutt'altro che ovvia nel nostro paese, l'Istituto Beni Culturali, in collaborazione stretta con il Consiglio Nazionale delle Ricerche e con l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima di Bologna, ha avviato già da alcuni anni in Emilia-Romagna il progetto MUSA per il monitoraggio assistito delle condizioni ambientali nei musei, nelle biblioteche e negli archivi storici. E uno dei risultati del nostro dialogo è appunto il presente volume, che mette a frutto un'esperienza tutta svolta sul campo e propone un compendio aggiornato dei saperi scientifici che stanno alla base di una corretta conservazione, con una puntuale rassegna delle buone pratiche per la salvaguardia degli oggetti e del loro significato culturale, storico e artistico. Un libro, dunque, di lavoro, dedicato a quanti operano in biblioteche e musei, con la speranza che essi possano giovare di una riflessione nata dal mondo concreto della prassi, e che può tradursi alla fine in una scheda, in un modello possibile d'uso. Intanto noi seguiamo il nostro dialogo sperimentale sul restauro.

PREVENIRE CONVIENE

di LAURA CARLINI

Oggetti nel tempo: sono le tante opere d'arte conservate nelle istituzioni culturali che reclamano di essere preservate dal naturale decadimento per essere trasmesse indenni alle future generazioni e che richiedono di essere protette nel modo più accurato ed efficace anche nei periodi di maggiori ristrettezze economiche.

Da tempo l'Istituto Beni Culturali ha posto la conservazione preventiva al centro del proprio operare, impiegando un approccio a carattere eminentemente sperimentale ed innovativo a vantaggio delle istituzioni museali ed attuando la relativa formazione nei confronti del personale dei musei.

Nella convinzione che sia essenziale incentivare la diffusione della cultura della conservazione preventiva, non ancora sufficientemente recepita nel nostro paese, l'Istituto ne ha fatto l'oggetto di un progetto mirato, i cui primi esiti sono confluiti in questo volume.

Per conservazione preventiva s'intende l'insieme delle misure adottate per prevenire o ridurre i possibili danni alle collezioni. In altre parole, le modalità con cui si compiono operazioni quali, ad esempio, la movimentazione, la gestione delle collezioni in esposizione e in deposito e il monitoraggio microclimatico, sono elementi determinanti nella pratica della conservazione preventiva.

In effetti, la conservazione preventiva ha come obiettivo la protezione delle collezioni nel loro insieme, piuttosto che l'azione rivolta al singolo oggetto e s'incentra prevalentemente sul concetto di "non intervento", piuttosto che su quello d'intervento di restauro.¹

In tempi di disponibilità finanziarie limitate è, inoltre, quasi impossibile che un'istituzione possa sostenere i costi per il restauro o il risanamento di tutti i pezzi delle proprie collezioni ed è di fondamentale importanza, perciò, che si affronti il problema della conservazione in una prospettiva complessiva di prevenzione, in modo da ridurre gli interventi di restauro sulle opere ad una consistenza numerica ragionevole e facilmente gestibile anche per strutture dalle capacità finanziarie ristrette.

Il tempo scorre e produce danni, ma il deterioramento degli oggetti non è chiaramente percepibile se non in un arco temporale esteso. Poiché il tasso di deterioramento è molto difficile da quantificare, i risultati ottenuti grazie agli investimenti in conservazione preventiva sono molto ardui da misurare, anche perché l'aspetto degli oggetti non migliora, come nel caso del restauro; semplicemente non peggiora. Ciò comporta che i responsabili dell'allocazione delle risorse siano più invogliati a finanziare un intervento di restauro, di cui si possono ammirare gli esiti a breve termine, traendone anche un effetto positivo di visibilità, piuttosto che investire denaro nell'acquisto e gestione di un sistema di monitoraggio del microclima, il cui scopo è che non si modifichi ciò che già oggi percepiamo.

Tuttavia è questa seconda strada la modalità più virtuosa ed anche più conveniente di gestire un patrimonio: evitare e ritardare gli effetti del degrado, come ampiamente dimostrato nella cospicua bibliografia internazionale sull'argomento prodotta ed aggiornata dall'ICCROM.²

La migliore conservazione possibile del nostro patrimonio alle condizioni economiche più vantaggiose è il concetto alla base del progetto MUSA, rete intermuseale di monitoraggio climatico *indoor* a distanza, pensato *ad hoc* per il sistema museale dell'Emilia-Romagna, costituito da molteplici piccole realtà, di grande fascino e rilevanza storica ed artistica, ma spesso scarsamente equipaggiate.

Proprio la consapevolezza delle ridotte dotazioni umane, finanziarie e strumentali di molti musei in Emilia-Romagna ha convinto il Servizio Musei dell'Istituto Beni Culturali, in collaborazione con il CNR-ISAC di Bologna, a creare e implementare un sistema di rilevazione, monitoraggio ed assistenza tecnico-scientifica in rete, tale da poter coinvolgere nella conservazione preventiva anche istituzioni che non sarebbero state in grado, singolarmente, di dotarsi né della strumentazione, né soprattutto del personale professionale in grado di interpretare i dati e di individuare le soluzioni conservative ottimali.

Se il monitoraggio microclimatico è prassi piuttosto diffusa in musei italiani e stranieri, la creazione di un sistema a rete è un'idea del tutto innovativa, nata dall'esigenza di includere nel progetto di miglioramento della conservazione preventiva anche i musei più fragili ed isolati.

La rete è costituita da un centro in grado di raccogliere, elaborare, confrontare le informazioni provenienti dai siti periferici, restituendole agli stessi in termini comprensibili per tutti gli operatori e corredate da istruzioni per sanare situazioni di pericolo.

In funzione del progetto MUSA l'Istituto si è attrezzato con una postazione di controllo del monitoraggio permanente degli spazi museali, grazie alla quale può osservare con continuità l'evoluzione delle condizioni microclimatiche e valutare l'adeguatezza delle prescrizioni suggerite, potendo verificare in tempo reale eventuali problemi e soluzioni alternative. Le informazioni provenienti dai siti monitorati confluiscono in una banca dati che consente di predisporre verifiche ed analisi comparate di diverso tipo, quali ad esempio: il controllo diacronico dei parametri di un particolare museo, o la valutazione delle reazioni degli stessi materiali in ambienti diversi.

Il progetto MUSA s'inserisce nell'ambito delle azioni di sostegno che il Servizio Musei ha attivato a beneficio del sistema museale regionale per il raggiungimento degli standard e obiettivi di qualità previsti dalla Deliberazione della Giunta Regionale 3 marzo 2003, n. 309 *Approvazione standard e obiettivi di qualità per biblioteche, archivi storici e musei ai sensi dell'art. 10 della L.R. 18/00 "Norme in materia di biblioteche, archivi storici, musei e beni culturali"*, che definisce i requisiti obbligatori e gli obiettivi di qualità che gli istituti culturali sono tenuti a perseguire.

In particolare, come disposto nella Deliberazione, i musei s'impegnano, nell'ambito della gestione e cura delle collezioni, ad assicurare il controllo periodico dello stato conservativo dei beni custoditi ed il monitoraggio degli ambienti che li ospitano (sale espositive e depositi) in base ai parametri di conservazione applicati in ambito europeo e internazionale. Gli istituti inoltre si obbligano a documentare mediante report periodici il rilevamento dei dati sullo stato di conservazione delle opere e degli ambienti e garantiscono che il controllo sullo stato conservativo delle opere e il monitoraggio dei parametri ambientali museali siano effettuati da personale qualificato, dotato di strumentazione adeguata.

È opportuno sottolineare che un puntuale monitoraggio del microclima ed un'attenta gestione di parametri quali temperatura, umidità relativa ed illuminamento consentono anche un effettivo risparmio in termini economici. Si tratta dunque di una metodologia che permette di salvaguardare meglio le opere, riducendo la frequenza degli interventi di restauro e manutenzione e di risparmiarne i relativi costi. È stato infatti stimato che l'intervallo di tempo che intercorre tra due interventi di manutenzione/restauro sulla stessa opera raddoppia nel caso in cui questa si trovi in condizioni microclimatiche ottimali, dando luogo così sia ad un risparmio monetario (costi dilazionati/evitati per restauri), sia ad un trauma risparmiato all'opera, poiché si posticipa di molti anni un'operazione comunque invasiva che può presentare aspetti rischiosi.³

Una precisa messa a punto di strategie per mantenere stabile la temperatura interna permette anche di ottenere un calo dei consumi energetici con relativa riduzione dei costi di gestione del museo, cui si aggiungono i vantaggi derivanti da un minor inquinamento. A questi risparmi si possono sommare pure quelli dei costi evitati e non affrontabili da singole istituzioni di modeste dimensioni, per il personale specializzato che dovrebbe essere impiegato per la verifica costante dei parametri microclimatici e che, grazie alla rete, è condiviso dai musei partecipanti.

Ai vantaggi descritti si possono associare anche quelli determinati dalla certezza di non vedere vanificati gli esiti di un restauro appena effettuato, che sarebbero messi a rischio dalla collocazione dell'opera in uno spazio inadatto sotto il profilo conservativo.

La capacità di assicurare parametri microclimatici adeguati pone, inoltre, il museo nella condizione di organizzare esposizioni temporanee potendo contare su prestiti di opere prestigiose da parte di altri musei, i quali accordano la cessione temporanea dei loro artefatti solo ad istituzioni in grado di garantire la loro perfetta conservazione.

Tutti i temi finora enunciati sono trattati in modo ampio e approfondito nel presente volume, pensato come un manuale da consultare per trovare soluzioni a problemi concreti e per aiutare quanti operano all'interno delle istituzioni culturali (musei, archivi, biblioteche) nell'ambito della conservazione, ed articolato in due parti principali.

La prima comprende i capitoli dedicati ai diversi temi: il microclima del museo, l'invecchiamento dei materiali, la qualità dell'aria indoor, il monitoraggio dell'ambiente, i macro e i microambienti, la movimentazione delle opere, la gestione degli ambienti e dei visitatori, norme e linee guida nazionali ed internazionali, per ciascuno dei quali fornisce un testo descrittivo, una sintesi, alcuni approfondimenti, laddove ritenuti utili, e infine una o più pagine di consigli pratici, di comportamenti consigliati o da evitare.

La seconda parte è imperniata su quattordici casi di studio, desunti dal monitoraggio effettivo dei musei facenti parte del progetto MUSA. Si tratta di un ventaglio di casi pratici in forma di scheda di agevole consultazione, scelti per illustrare situazioni diversificate, per tipologia di museo, per caratteristiche dell'edificio e dei materiali, per i problemi conservativi riscontrati e selezionati per offrire la più variegata casistica di riferimento e le relative soluzioni proposte.

NOTE ¹ GETTY CONSERVATION INSTITUTE, 1994: Preventive conservation, *Care of collections* (S. NELL ed.), 83-87

² Cfr. www.iccrom.org

³ KEENE S., 1996: Managing conservation in museums, 52-53



IL PROGETTO MUSA UNA RETE REGIONALE PER BUONE PRATICHE DI CONSERVAZIONE

di **LUISA MASETTI BITELLI** e **ANTONELLA SALVI**

Il Progetto MUSA. Rete regionale intermuseale per la gestione a distanza della conservazione dei beni artistici nasce ufficialmente nel 2002 per iniziativa dell'Istituto Beni Culturali, con la preziosa collaborazione tecnica di uno staff specializzato di ricercatori del CNR- ISAC – Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima di Bologna, e immediatamente si caratterizza, anche a livello nazionale, come una azione fortemente innovativa per estensione, contenuti e obiettivi.

La realizzazione di una rete a scala regionale, il controllo della funzionalità della strumentazione e la elaborazione dei dati da remoto e in tempo reale, l'adozione di impianti senza filo, la partecipazione totalmente gratuita delle istituzioni culturali: sono questi gli elementi strutturali del progetto e sono nello stesso tempo le premesse necessarie sulle quali l'Istituto Beni Culturali ha voluto realizzare un'iniziativa concreta volta alla conservazione preventiva delle opere d'arte e sulla quale investire considerevoli energie e risorse finanziarie.

Avviato in fase sperimentale nel gennaio 2002 con il coinvolgimento di tre musei-pilota (Collezioni Comunali d'Arte di Bologna, Museo d'Arte della Città di Ravenna e Casa Museo "Marino Moretti" di Cesenatico), il progetto è a regime dal gennaio 2003 e attualmente coinvolge più di venti istituzioni culturali della regione.

L'Istituto Beni Culturali ha fra i suoi compiti la conoscenza e la conservazione del patrimonio storico-artistico presente sul territorio: in questo ambito uno dei temi di maggior rilievo è legato alla prevenzione del deterioramento dell'opera, con il preciso intento di ritardare quanto più possibile la necessità di un intervento di restauro vero e proprio. In questo senso il progetto MUSA rientra in un percorso, intrapreso da oltre un decennio, teso a privilegiare l'aspetto della conservazione preventiva delle opere esposte in musei, palazzi storici, chiese e altri contenitori di arte e cultura di pertinenza degli enti pubblici. Risale agli inizi degli anni '90



infatti la prima indagine a campione su alcuni musei della regione, selezionati per le problematiche connesse alle condizioni ambientali e presso i quali l'Istituto ha installato con proprie risorse sensori e centraline per il controllo dell'andamento termoisolometrico.

L'azione preventiva per la conservazione dei beni culturali è favorita dalla versatilità delle moderne tecnologie: oggi è divenuto possibile infatti portare a livelli estremamente più elevati, sofisticati e affidabili l'efficacia del controllo ambientale.

Il sistema MUSA prevede una rete ad estensione regionale in cui il monitoraggio indoor dei valori ambientali di temperatura e umidità relativa, delle polveri, dell'illuminamento e della componente biologica, effettuato in loco con apposita strumentazione, viene interamente gestito a distanza dal Centro di Elaborazione Dati (CED) situato presso il CNR-ISAC.

Gli oggetti presenti in ambienti confinati (intesi come sale espositive, bacheche e contenitori vari) interagiscono con l'ambiente che li circonda e subiscono inevitabili alterazioni che sono fra i principali rischi del loro progressivo degrado. Il controllo, permanente e costante, della qualità dell'atmosfera in cui vive l'opera d'arte costituisce quindi la base su cui si sviluppa la filosofia e l'applicabilità del Progetto MUSA: verificare e favorire la compatibilità dell'ambiente con le caratteristiche specifiche delle tipologie dei materiali ivi conservati e destinati all'esposizione permanente, temporanea o anche al deposito.

Perseguire l'elemento "compatibilità" non è un impegno di poco conto, se si considera la straordinaria varietà di manufatti (dipinti su tela, su tavola e su muro, opere su carta, ceramiche, tessuti, materiali polimerici, sculture, materiali archeologici in metallo, in terracotta, in pietra, oggetti del lavoro contadino, collezioni naturalistiche, ecc.) solitamente presenti nei musei che richiedono una opportuna diversificazione delle condizioni conservative ambientali idonee alle varie tipologie. A complicare ulteriormente la messa a punto di parametri conservativi "ottimali", si registra spesso una distinzione tipologica persino all'interno dello stesso ambiente espositivo, laddove convivono, ad esempio, dipinti su tavola, arazzi e sculture lignee.

L'esperienza ultratrentennale maturata dall'Istituto Beni Culturali in materia ha sollecitato la messa in atto di operazioni mirate a supportare le istituzioni con azioni concrete, fornendo un aiuto fattivo anche e soprattutto in riferimento al progressivo allineamento dei musei agli standard e ai requisiti di qualità relativi alla conservazione preventiva delle opere fissati nel Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 e al quale ha fatto seguito nel 2003 la delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna.

Con l'inserimento nella rete di monitoraggio assistito tramite il Progetto MUSA, il museo, oltre ad avvalersi del necessario know-how sul funzionamento del sistema, può ricevere una serie di benefici così sinteticamente indicati:

- analisi delle migliori "strategie" da adottare per favorire il raggiungimento di una compatibilità di parametri fra ambiente e opere, superando i limiti strutturali della specifica situazione museale
- ottenimento di un attestato di partecipazione a MUSA che comprova l'avvio, presso l'istituzione, dell'azione di conservazione preventiva finalizzata all'allineamento del museo agli standard previsti dalla legge
- caratterizzazione e controllo dei parametri microclimatici ambientali per acquisire l'idoneità ambientale essenziale per prestiti di opere in entrata e in uscita
- utilizzo della consulenza scientifica qualificata del CNR-ISAC finalizzata alla scelta, installazione e attivazione della strumentazione di monitoraggio

- creazione di un accesso riservato ad un sito Internet attraverso il quale il museo può accedere a tutti i documenti e dati che lo riguardano
- ricevimento di rapporti periodici sull'effettivo stato dei materiali conservati in relazione all'andamento dei parametri ambientali
- ricevimento di SMS di avvertimento e di pericolo riguardanti lo stato degli ambienti e delle opere

Al termine del monitoraggio assistito l'istituzione dovrebbe aver acquisito una maggiore sensibilità e consapevolezza sui temi della prevenzione e sicuramente essere in grado di gestire correttamente il proseguimento dell'attività di controllo ambientale.

All'interno del progetto è previsto inoltre un supporto ai musei in circostanze che potremmo definire straordinarie e che fanno riferimento a:

- monitoraggio in occasione di movimentazione delle opere in ambienti diversi all'interno dello stesso sede museale o nel caso di nuovi allestimenti presso sedi diverse
- osservazione costante dei parametri ambientali nel caso di trasferimenti di oggetti presso laboratori di restauro
- monitoraggio per trasferimenti in nuovi depositi.

La prassi di adesione al progetto MUSA è molto semplice anche perché è stata preceduta da una concertazione a livello regionale tra Istituto Beni Culturali, Province e Comuni. Attualmente l'istituzione culturale interessata può richiedere l'inserimento nel progetto MUSA nell'ambito dei piani di intervento annuali gestiti dall'Istituto Beni Culturali e previsti dalla LR 18/2000 "Norme in materie di Biblioteche, Archivi Storici, Musei e Beni Culturali". Contestualmente l'istituzione richiedente può inoltrare domanda di contributo per l'acquisizione della strumentazione di rilevamento necessaria (sensori, centralina, modem) alle Province le quali intervengono in base alla stessa legge.

Il museo, una volta entrato nella rete MUSA, usufruisce di un servizio di monitoraggio totalmente gratuito per un periodo di 18 mesi che corrisponde, come verificato nella fase sperimentale del progetto stesso, all'arco di tempo necessario per una appropriata caratterizzazione dell'ambiente in rapporto ai materiali custoditi e alla messa a punto di una serie di corrette operazioni di routine e straordinarie nella manutenzione e nella gestione.

Al termine del monitoraggio assistito tramite MUSA, l'istituzione entra in possesso di un "report finale" elaborato dal CNR-ISAC che riassume la caratterizzazione ambientale e suggerisce norme comportamentali ottimali per la propria realtà.

È evidente che il progetto, per quanto valido in sé, può funzionare solo in rapporto ad una sua continuità nel tempo per non vanificare il lavoro avviato; sarà pertanto compito del museo responsabilizzarsi in tal senso per continuare la necessaria opera di prevenzione.

La presente pubblicazione intende essere un segno tangibile della concretezza che ha sempre caratterizzato l'ideazione e la realizzazione della rete MUSA da parte dell'Istituto Beni Culturali e del CNR - ISAC: l'analisi dei meccanismi fisici, chimici e biologici che concorrono al degrado dei materiali è correlata in ogni capitolo ad un prezioso corpus di indicazioni sulle procedure da seguire per il buon mantenimento delle opere, desunte dall'esperienza maturata sul campo. La stessa presentazione di numerosi casi di studio intende rafforzare l'idea di praticità che si è voluto conferire al manuale, entrando nello specifico delle problematiche che ogni operatore nella quotidianità si trova ad affrontare e cercando di offrire indicazioni e suggerimenti per la loro risoluzione.

CAPITOLO

1



Il microclima del museo



Gli ambienti interni, nei quali di solito sono conservati le opere d'arte e i beni culturali in generale, possono essere caratterizzati attraverso tipologie o categorie di parametri ambientali come quelli fisici che sono certamente i più conosciuti e adottati. Questi parametri sono misurabili con apparecchiature specifiche e con procedure codificate.

I principali parametri fisici utilizzati per il rilevamento delle caratteristiche microclimatiche sono: la temperatura e l'umidità dell'aria; la ventilazione o spostamento di masse d'aria all'interno degli ambienti e lo scambio fra ambiente interno e ambiente esterno; la radiazione luminosa naturale e artificiale. A questi parametri principali ne possiamo aggiungere altri come le vibrazioni alle quali le strutture e gli oggetti vengono sottoposti e la polverosità degli ambienti.

1.1 LA MACCHINA TERMODINAMICA

Consideriamo il museo, l'archivio, la galleria come sistemi in equilibrio termico fra le diverse temperature dell'ambiente esterno, dell'edificio, delle sale, degli oggetti, dei materiali che costituiscono gli oggetti. Per il momento possiamo dire che noi possediamo "naturalmente" il concetto di temperatura in quanto siamo in grado di distinguere tra corpi caldi e freddi attraverso i termorecettori del nostro corpo. Poiché questo procedimento è soggettivo e poco utile per scopi scientifici e applicativi, dobbiamo ricorrere ad un campo della fisica, la termodinamica, che è lo studio del calore e dei suoi effetti e si basa su alcuni fondamenti di natura empirica: il "principio zero", legato al concetto di temperatura; il primo principio, legato al concetto di energia interna e il secondo principio, che esprime il concetto di entropia. Cosa hanno a che fare questi principi con la conservazione degli oggetti e delle strutture che costituiscono un museo, o meglio, perché trattiamo questi argomenti in un "manuale" per la conservazione preventiva delle opere d'arte? Il motivo è molto semplice. Noi riteniamo che coloro che hanno a cuore l'integrità del patrimonio culturale nel tempo debbano conoscere almeno i rudimenti dei principi, in questo caso fisici, che sono alla base dei meccanismi che portano al deterioramento di tutti i materiali e quindi degli oggetti conservati. Questi meccanismi, questi processi, sono messi in moto e alimentati da continui impercettibili scambi di energia in forme diverse. Gli scambi di calore sono fra i più importanti perché andranno a regolare non solo le dilatazioni e i restringimenti dei materiali ma anche i cicli di evaporazione e di condensazione dell'acqua, rispettivamente liquida e vapore, le reazioni chimiche provocate dalla interazione dei materiali con l'ambiente, le proliferazioni biologiche che aggrediranno più o meno velocemente taluni materiali meglio di altri. Per questo motivo abbiamo ritenuto importante sottoporre alla vostra attenzione le regole della trasformazione dell'energia negli oggetti nella maniera in cui oggi la comunità scientifica internazionale le interpreta. Lo scopo è di mettervi in condizione di capire che certe condizioni di conservazione non sono le migliori, di avere il dubbio che il quadro appeso alla parete abbia scambi di temperatura troppo intensi in relazione alla fragilità dello strato di pigmenti presenti sulla superficie di una tavola dipinta, che l'eccessivo numero di persone in una sala vada a modificare grandemente le condizioni ambientali nelle quali stanno le opere esposte. Ed ecco allora alcuni degli ingranaggi fondamentali della macchina dell'invecchiamento dei materiali: i

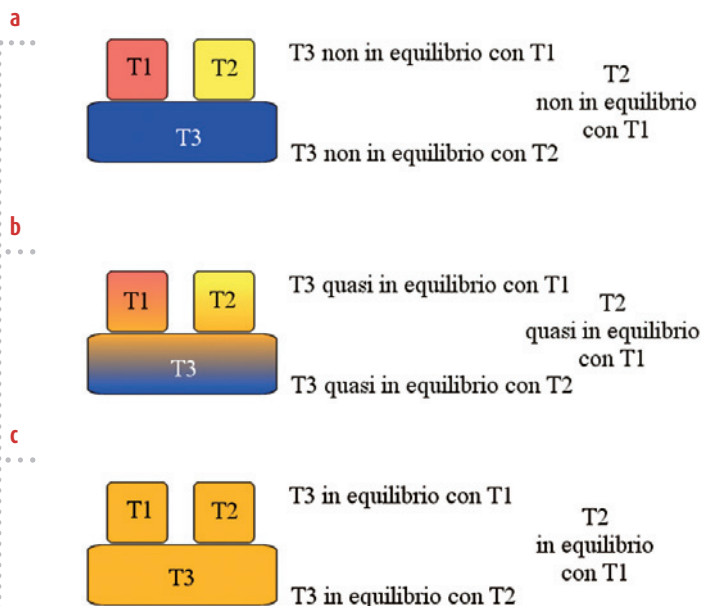
principi della termodinamica. Uno di questi principi, il “principio zero” della termodinamica, è molto intuitivo e consente di dare una definizione empirica della temperatura. Esso afferma:

“quando due sistemi sono in equilibrio termico con un terzo, essi sono in equilibrio anche tra loro”

Consideriamo un corpo T2 che al tatto ci sembra freddo e un corpo T1 che sembra caldo e mettiamoli a contatto fra loro attraverso un terzo corpo a temperatura T3. Dopo un tempo sufficientemente lungo, toccando i tre corpi proveremo la stessa sensazione termica su tutti e tre: T1, T2 e T3 sono in equilibrio termico e quindi possiedono la stessa temperatura (fig 1.1 a,b,c).

La proprietà condivisa è la temperatura; il dispositivo che la condivide e ne registra il valore è il termometro, in questo caso la nostra mano.

Fig 1.1 a) Consideriamo tre oggetti a contatto fra loro aventi temperatura differente (T1, T2, T3); **b)** con il passare del tempo il calore fluirà più alta a quelli a temperatura inferiore; **c)** il trasferimento di calore cesserà quando i tre oggetti avranno raggiunto la stessa temperatura.



La termodinamica ci fornisce una definizione operativa del calore attraverso il **primo principio**.

Il calore (energia termica) è equivalente ad una qualsiasi altra forma di energia come il lavoro meccanico (energia potenziale e cinetica), l'energia luminosa e l'energia chimica. Il primo principio della termodinamica entra così nei processi di degrado dei materiali attraverso la trasformazione delle diverse forme di energia.

Nel nostro caso potremmo riformulare il primo principio della termodinamica nel modo seguente:

“la somma del calore e delle altre forme di energia scambiate fra sistemi è uguale alla variazione della loro energia interna”

Esso è quindi un'espressione del principio di conservazione dell'energia.

Gli altri principi della termodinamica ci confermano che l'energia, nelle sue varie forme, si trasforma continuamente livellandosi verso un valore finale uniforme, comunque inferiore ai valori iniziali di energia come accade per gli oggetti esposti in una vetrina di museo (fig. 1.2).

Il **terzo principio della termodinamica** fornisce un punto di riferimento assoluto per la determinazione dell'entropia. In altri termini il terzo principio della termodinamica ci dice che i trasferimenti di calore da un corpo all'altro degraderanno sempre più, tendendo allo zero assoluto senza mai raggiungerlo.

Dai principi della termodinamica apprendiamo che temperatura, calore ed energia termica sono intimamente legati fra loro.

Sintesi

IL FLUSSO DEL CALORE

- un corpo freddo non può scaldare un corpo caldo.
- oggetti a diversa temperatura lentamente tenderanno a raggiungere un equilibrio fra loro; se il numero di oggetti è infinito, la temperatura da raggiungere si avvicinerà allo zero assoluto.
- l'energia viene naturalmente distribuita e continuamente livellata, degradandosi a valori sempre più bassi.

Approfondimento

GLI STATI DI AGGREGAZIONE DELLA MATERIA

La materia può presentarsi in tre stati diversi: i solidi sono caratterizzati da volume e forma propria e sono difficilmente comprimibili; i liquidi invece posseggono solo un volume ma non una forma in quanto assumono la forma del recipiente in cui sono contenuti; i gas infine non hanno né volume né forma propria perché assumono sia la forma che il volume del recipiente in cui sono contenuti e sono facilmente comprimibili. Si è visto che le sostanze possono trovarsi in natura in tre differenti stati di aggregazione: solido, liquido e aeriforme; questi stati, caratteristici di quasi tutte le sostanze, sono in funzione delle loro condizioni di pressione e di temperatura. Per esempio, è noto che riscaldando il ghiaccio questo si liquefa e che riscaldando ulteriormente l'acqua



Fig 1.2 Gli oggetti nella vetrina tenderanno tutti ad assumere la temperatura minima dell'ambiente.



questa evapora, mentre raffreddando il vapore o comprimendolo questo si trasforma in liquido. Queste trasformazioni sono definite passaggi di stato. Lo schema di fig. 1.3 riassume tutti i passaggi di stato:



Fig 1.3 I tre stati, o fasi, della materia sono rappresentati con le loro trasformazioni che avvengono sempre con produzione o assorbimento di calore.

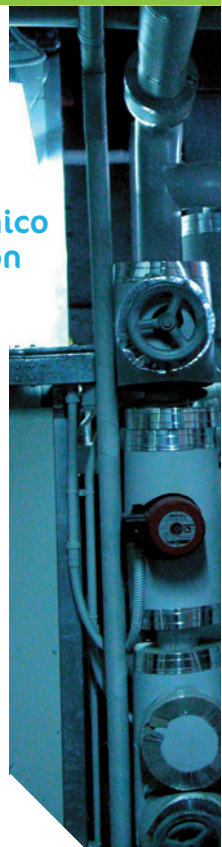
1.2 I PARAMETRI FISICI DELL'AMBIENTE

1.2.1 Temperatura e Calore

“La temperatura è la grandezza fisica che esprime lo stato termico di un sistema e descrive la sua attitudine a scambiare calore con l'ambiente o con altri corpi”

Quando due sistemi sono posti a contatto termico, il calore fluisce dal sistema a temperatura maggiore a quello a temperatura minore, fino al raggiungimento dell'equilibrio termico, in cui i due sistemi si trovano alla stessa temperatura.

Il trasferimento di calore può avvenire per conduzione, convezione o irraggiamento. Le proprietà formali della temperatura sono studiate dalla termodinamica. La temperatura è correlata alla quantità di energia termica o calore di un sistema. Se viene aggiunto calore la temperatura sale e nello stesso modo un decremento di temperatura corrisponde a una perdita di calore del sistema. Su scala microscopica, questo calore corrisponde al movimento casuale degli atomi e delle molecole del sistema. Quindi un incremento di temperatura corrisponde a un incremento del movimento degli atomi o delle molecole del sistema.



Sintesi

LA TEMPERATURA

- è una grandezza di cui tutti abbiamo una percezione fisica e tutti sappiamo che si misura con uno strumento chiamato termometro.
- è una proprietà caratteristica dei corpi (variabile di stato), dipende cioè dallo stato del sistema/oggetto che stiamo esaminando e non dalla sua storia precedente.
- varia in relazione alla temperatura dei corpi vicini (equilibrio termico), può variare in presenza di interazioni con altri fenomeni come il riscaldamento per attrito, il riscaldamento o il raffreddamento da reazioni chimiche o da emissione o cessione di radiazioni infrarosse.
- è una grandezza “statistica”, è legata cioè all'energia media di un alto numero di particelle che fanno parte del sistema, dell'oggetto, del materiale che stiamo esaminando.
- è singolare la modalità di misura e di determinazione dell'unità di misura (scale termometriche); misuriamo infatti con diversi tipi di termometro e con differenti scale termometriche come la scala Celsius, che usiamo noi, e la scala Fahrenheit usata negli Stati Uniti.



Molte proprietà fisiche dei materiali, inclusi lo stato (gas, liquido, solido), la densità, la solubilità, la pressione del vapore e la conduttività elettrica dipendono dalla temperatura. La temperatura gioca inoltre un ruolo importante nel determinare la velocità delle reazioni chimiche. La temperatura è una proprietà intrinseca di un sistema, intendendo con ciò che non dipende dalle dimensioni o dalla quantità di materia del sistema. Altre proprietà intrinseche includono pressione e densità. Per contro, massa e volume sono proprietà estrinseche, e dipendono dalla quantità di materia presente nel sistema.

Il concetto di temperatura è associato all'idea di fornire una misura relativa di quanto i corpi risultano freddi o caldi al tatto. I termini temperatura e calore sono quindi correlati, ma si riferiscono a concetti diversi come abbiamo già accennato: la temperatura è una proprietà di un corpo, mentre il calore è una forma di energia che fluisce da un corpo a un altro, per colmare una differenza di temperatura.

Per ottenere misure di temperatura si sfruttano generalmente metodi indiretti, basati sugli effetti di processi di riscaldamento o raffreddamento; il metodo più usato consiste nella misurazione della dilatazione termica subita dai corpi. Il convenzionale termometro a mercurio misura la variazione di volume del mercurio posto in un capillare di vetro, quando è messo in contatto termico con un corpo di temperatura ignota. L'allungamento della colonna di mercurio è proporzionale alla temperatura del corpo.

Approfondimento



LE SCALE TERMOMETRICHE

Una delle prime scale di temperatura fu ideata nel 1720 dal fisico tedesco Gabriel Daniel Fahrenheit. Nella scala Fahrenheit, alla pressione di 1 atmosfera, la temperatura di congelamento dell'acqua corrisponde al valore di temperatura di 32 °F, mentre al suo punto di ebollizione si attribuisce il valore di 212 °F. Nella scala centigrada, o Celsius, introdotta dall'astronomo svedese Anders Celsius (1701-1744) e impiegata nella maggior parte dei paesi, il punto di fusione dell'acqua corrisponde a 0 °C, quello di ebollizione a 100 °C. Le due scale differiscono dunque sia per i valori assegnati al

punto di congelamento e di ebollizione dell'acqua, sia per il numero di gradi in cui tale intervallo di riferimento resta suddiviso. Nella scala Fahrenheit, l'intervallo si estende da 32 °F a 212 °F e corrisponde a un'escursione termica di 180 gradi, mentre nella scala Celsius l'intervallo, da 0 °C a 100 °C, corrisponde a 100 gradi. In ambito scientifico è invece più diffuso l'uso della cosiddetta scala assoluta, o Kelvin, inventata dal matematico e fisico britannico William Thomson Kelvin. In questa scala, lo zero assoluto è collocato a -273,15 °C (pari dunque a 0 K), mentre l'unità di misura della scala, il

grado Kelvin, corrisponde all'escursione termica di un grado centigrado. La conversione fra queste due scale richiede perciò solo un cambiamento dello zero di riferimento: a 0 °C corrispondono 273,15 K. Il fattore di conversione fra le scale e alcuni valori esemplificativi sono mostrati nella tabella "Conversione fra scale di temperatura: da gradi Celsius a gradi Kelvin". Va ricordato che lo zero assoluto è un valore di temperatura che non può essere fisicamente raggiunto: a esso comunque ci si può avvicinare, mediante tecniche speciali di raffreddamento, che vanno sotto il nome di criogenia.

“Il calore è quel tipo di energia che viene scambiata fra corpi a temperatura diversa o in transizioni di fase (es. un liquido che diventa un gas)”

Il calore trasferito ad un corpo, attraversata la superficie di contorno che separa il corpo dall'ambiente, si trasforma in energia accumulata.

Il calore è energia in transito: fluisce sempre dai punti a temperatura maggiore a quelli a temperatura minore, finché non viene raggiunto l'equilibrio termico. Un poco come l'acqua che naturalmente scende dai livelli superiori a quelli inferiori, e mai al contrario.

La quantità di calore richiesta per produrre la trasformazione di fase, detta anche cambiamento di stato, per unità di massa di una sostanza è detta calore latente; vi sono quindi calori latenti di fusione, di vaporizzazione e di sublimazione. Se si porta a ebollizione dell'acqua in un recipiente aperto alla pressione di 1 atmosfera, la temperatura non sale oltre i 100 °C, indipendentemente dalla quantità di calore fornito. Il calore assorbito dall'acqua è il calore latente, che viene speso per trasformare l'acqua in vapore ed è pertanto immagazzinato come energia nel vapore stesso. Servono circa 540 calorie per trasformare 1 grammo di acqua in vapore. Analogamente, se si riscalda un miscuglio di ghiaccio e

acqua, la temperatura non varia fino a quando il processo di fusione del ghiaccio non è completo. Il calore latente assorbito in questo caso serve a vincere le forze che tengono unite le particelle di ghiaccio. Servono 80 calorie per sciogliere 1 grammo di ghiaccio in acqua.

“Un parametro caratteristico delle sostanze è il calore specifico che è la quantità di calore necessaria ad innalzare di un grado centigrado la temperatura dell'unità di massa di una certa sostanza”

Ad esempio per innalzare di 1 °C 1 grammo d'acqua occorre 1 caloria, mentre basta 1/2 caloria per innalzare di 1 °C la stessa quantità di alcol etilico e ancora meno calore serve per scaldare 1 grammo di ferro poiché è sufficiente 1/10 di caloria per innalzarne la temperatura di 1 grado. A questo punto vi sarete accorti che abbiamo introdotto una nuova unità di misura: la caloria. A dire la verità l'abbiamo “inventata” in questo momento poiché la caloria è una unità di misura dell'energia che viene definita attraverso l'esempio precedente ovvero, la caloria è la quantità di calore necessaria per innalzare di 1 grado 1 grammo di acqua distillata.

Esaminiamo ora come “l’energia calore” si trasmette da un punto all’altro dell’ambiente. La propagazione o trasmissione di calore può avvenire all’interno di un corpo, in aria tra corpi distinti e anche nel vuoto. Sebbene il calore che fluisce non possa essere misurato o osservato in maniera diretta, se ne possono misurare ed osservare gli effetti prodotti. La propagazione del calore avviene per conduzione, convezione e irraggiamento.

Nella trasmissione di calore per *conduzione* (fig. 1.4) possiamo esaminare il caso di due corpi a diretto contatto e a temperatura diversa, vedendo come l’energia di vibrazione delle molecole o atomi del corpo più caldo si trasferisca al secondo corpo, facendone aumentare la temperatura.

Fig 1.4 Trasferimento di calore (Q) per conduzione dal corpo a temperatura maggiore T_1 a quello a temperatura minore T_2 .



Approfondimenti



CALORIA E JOULE

Fino agli inizi del XIX secolo l’effetto del calore era spiegato postulando l’esistenza di un fluido invisibile detto “calorico”, capace di trasferirsi dai corpi più caldi a quelli più freddi. Sebbene la teoria del calorico spiegasse bene alcuni fenomeni di propagazione del calore, alcuni esperimenti condotti nel 1798 da Benjamin Thompson e nel 1799 da Humphry Davy suggerirono che il calore fosse una forma di energia. Questa ipotesi venne confer-

mata dalle ricerche compiute tra il 1840 e 1849 dal fisico James Prescott Joule. In fisica, si adotta per il calore la stessa unità di misura valida per il lavoro e l’energia, cioè il Joule, usato oggi nel Sistema Internazionale. Spesso tuttavia si fa uso di un’altra unità, detta caloria, che è definita come la quantità di calore necessaria a portare la temperatura di 1 grammo di acqua da 14,5 °C a 15,5 °C in condizioni di pressione ordinaria, e vale 4,185 Joule.

La trasmissione di calore per *convezione* è caratterizzata da moti, detti moti convettivi, e si ha quando due corpi non sono a contatto diretto tra loro ma sono separati da un fluido, ad esempio l'aria o l'acqua. Sono proprio le molecole della sostanza frapposta a trasmettere il calore. Il trasporto di energia avviene mediante l'azione combinata della conduzione, dell'accumulo di energia e del mescolamento; è il meccanismo di scambio termico più importante tra una superficie solida e un fluido (fig. 1.5).

La trasmissione di calore per *irraggiamento* si manifesta tra corpi a differente temperatura che non sono a contatto tra loro (fig. 1.6). Esso non richiede necessariamente la presenza di un mezzo materiale tra i corpi stessi e avviene anche nel vuoto. Ogni corpo, emettendo radiazioni elettromagnetiche, disperde nello spazio circostante energia termica anche, e specialmente, fuori dallo spettro del visibile. Noi stessi avvertiamo in particolari condizioni la vicinanza di persone o di oggetti attraverso la percezione del calore che essi emettono. I moderni termometri all'infrarosso si basano su sensori che rilevano l'emissione di calore invisibile ai nostri occhi.

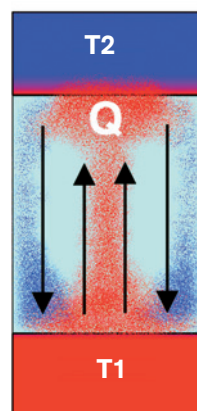


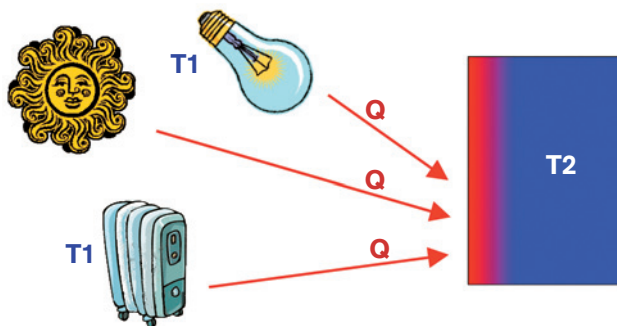
Fig 1.5 Trasferimento di calore per convezione dal corpo a temperatura maggiore T_1 in basso a quello a temperatura minore T_2 in alto attraverso la circolazione dell'aria calda che sale dal centro a riscaldare il corpo in colore blu.

Sintesi

IL CALORE E LA QUANTITÀ DI CALORE

- Il calore è energia che viene scambiata fra corpi a temperatura diversa in contatto o distanti fra loro, immersi in un fluido (aria, acqua) o nel vuoto, utilizzando i meccanismi di *conduzione*, *convezione* e *irraggiamento* o durante le transizioni di fase (es. un liquido che diventa un gas tende a raffreddarsi, un vapore che condensa cede calore).
- La quantità di calore non è una caratteristica del corpo ma è la caratteristica di un processo, misura cioè la quantità di energia che entra o che esce dal corpo in un processo di scambio di energia termica.
- Il *calore latente* e il *calore specifico* sono caratteristici per ogni sostanza e dipendono dalla struttura chimico-fisica della materia.
- Calore e quantità di calore si misurano in *calorie* e in *Joule*.

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:

$$UR = m_v / m_s$$

Meteorologi e conservatori moltiplicano per 100 questo risultato perciò se la quantità di vapore presente è uguale alla quantità di saturazione, ci troveremo con 100% di UR.

La percentuale di UR ci dice che fino a quando non avremo raggiunto il valore di saturazione 100%, l'acqua liquida presente nell'ambiente potrà evaporare e unirsi al vapore già contenuto nell'aria.

Un altro modo per esprimere l'umidità dell'aria è l'**umidità assoluta** UA che è la quantità di vapor d'acqua m_v contenuto nell'unità di volume V:

$$UA = m_v / V$$

Poiché la quantità di vapore è espressa in grammi e il volume è espresso in metri cubi, UA viene misurata in g/m^3 .

Abbiamo detto che la quantità di vapore presente in un volume d'aria dipende dalla temperatura alla quale si trova l'aria in quell'istante. Vi è un altro modo di esprimere l'umidità dell'aria senza che il valore dipenda dalla temperatura attraverso l'**umidità specifica** US che rappresenta il rapporto fra la massa di vapore m_v e la massa d'aria ($m_v + m_a$) in cui il vapore è disperso:

$$US = [m_v / (m_v + m_a)]$$

L'umidità specifica si esprime in grammi di vapore per chilogrammi di aria (g/kg) ed è indipendente dalla temperatura dell'aria.

Nella pratica possiamo misurare l'umidità relativa dell'aria attraverso opportuni sensori che assorbendo l'acqua atmosferica modificano alcune loro proprietà come la lunghezza, il peso, la resistenza elettrica, la costante dielettrica. Misurando la variazione di queste proprietà abbiamo il valore di UR. Un esempio: l'indice mobile che si muove sulla scala graduata dell'igrometro a capello misura l'allungamento o l'accorciamento di un fascio di capelli sensibili all'umidità circostante, mentre il valore che leggiamo sul display dell'igrometro elettronico indica la variazione di conducibilità o di costante dielettrica di un sensore elettronico. Entrambe le misure sono convertite, attraverso opportune tarature, in umidità relativa percentuale.

Esiste uno strumento che misura indirettamente la UR senza essere basato sull'assorbimento di acqua da parte del sensore come nei due esempi precedenti: è lo psicrometro che è costituito da

due termometri dei quali uno è ricoperto da una calza bagnata. Al momento della misura il termometro asciutto indicherà la temperatura dell'aria, il termometro bagnato indicherà una temperatura inferiore dovuta all'energia termica che gli è stata sottratta dalla evaporazione dell'acqua della calza bagnata. Attraverso una tabella psicrometrica, come quella riportata in tab. 2.1, sarà possibile conoscere l'umidità relativa percentuale inserendo i valori del termometro asciutto e del termometro bagnato. Lo psicrometro, che sarà descritto nel capitolo riguardante il monitoraggio microclimatico, viene utilizzato come riferimento per la taratura degli altri tipi di igrometri ad assorbimento prima accennati.

Un importante problema, fra i tanti che la conservazione preventiva pone, è l'*assorbimento della umidità dell'ambiente* da parte dei materiali come ad esempio il legno e la carta [23, 34, 35, 41, 42, 46].

Il legno che viene utilizzato per arredamenti contiene mediamente 10% di acqua in peso, ma l'esatta quantità di acqua assorbita dipende dalle condizioni di temperatura e umidità dell'ambiente in cui si trova, condizioni che provocano continuo aumento e diminuzione di volume e accelerano la decomposizione del legno. In quali circostanze il legno scambia acqua con l'aria? Per comprendere il processo dobbiamo introdurre un nuovo parametro detto *EMC (equilibrium moisture content)* che rappresenta la quantità di

Approfondimento



IL VAPOR D'ACQUA

Il vapor d'acqua si disperde abbastanza rapidamente in un ambiente, se paragoniamo la sua velocità di diffusione con quella all'interno di materiali porosi o di solidi e ciò principalmente perché l'aria negli ambienti non è mai ferma: 0.1 m/s è la tipica velocità dell'aria in una sala con finestre e porte chiuse. La conseguenza di questo rapido movimento di vapore è che la sua concentrazione tende a rimanere costante anche quando, nello stesso ambiente, non è costante la temperatura. Il risultato è che avremo una **distribuzione non uniforme di umidità relativa nello spazio** come nel caso di presenza di macchine come umidificatori e deumidificatori, o bocchette di immissione,

generatrici di aria a umidità controllata. A livello pratico questa caratteristica può rivelarsi un inconveniente per tutte quelle aree, superfici o oggetti della sala che si trovano a temperatura inferiore a quella del vapore immesso e che si troveranno in condizione di valori di UR superiori a quelli dell'ambiente circostante. In altri termini, quando siamo in presenza di non uniformità termica nell'ambiente dobbiamo aspettarci una non uniformità igrometrica. Ciò vale anche in caso di circolazione naturale dell'aria negli ambienti poiché con l'aria spostiamo il vapor d'acqua in essa contenuto.

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).

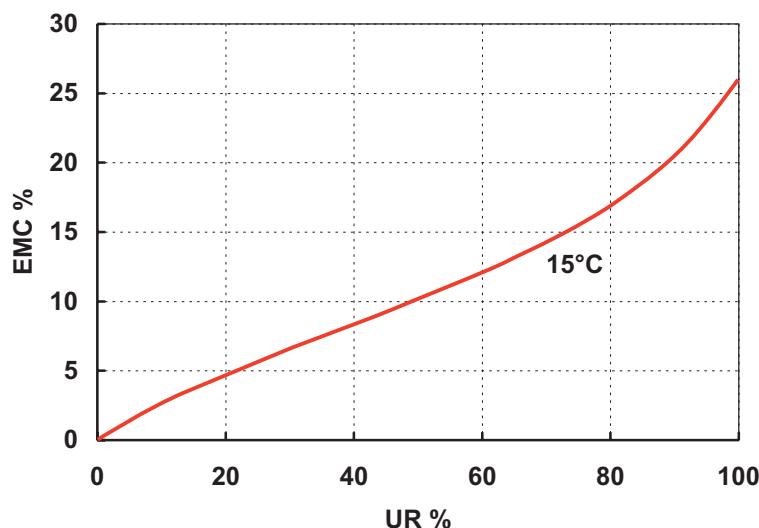


Fig 1.7 Equilibrio del contenuto percentuale (EMC%) di acqua nel legno (curva rossa) in relazione all'umidità relativa (UR%) dell'aria circostante.

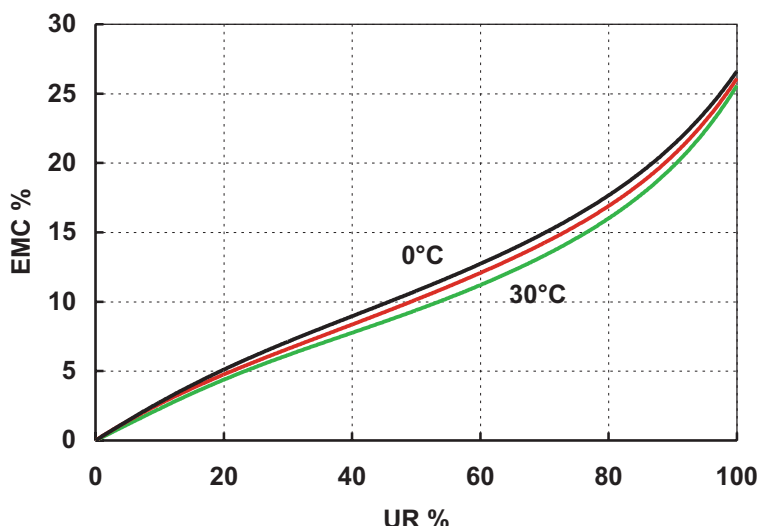
Sintesi

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]

Fig 1.8 *Equilibrio del contenuto percentuale (EMC%) di acqua nel legno in relazione alla umidità relativa (UR%) dell'aria e alle temperature 0°, 15°, 30° C.*



Anche la temperatura dell'ambiente contribuisce a modificare il reale contenuto d'acqua nel legno come possiamo vedere dal grafico della fig. 1.8 che presenta le percentuali di EMC a 0, 15 e 30 °C. Come è possibile notare, nell'intervallo 40 – 60% di UR la differenza di EMC raggiunge il 10% quando il legno passa dalla temperatura di 0° a 30 °C.

L'acqua all'interno del legno normalmente è presente in 4 forme:

- acqua di imbibizione (libera)
- acqua di saturazione delle pareti cellulari (legata)
- acqua di costituzione (chimica)
- vapore acqueo presente nelle cavità del legno

L'acqua di imbibizione e di saturazione sono soggette a variazioni di equilibrio con l'umidità dell'aria; l'acqua di costituzione, no.

Anche altri materiali come cotone, lino, lana, gel di silice ed intonaco si comportano alla stessa maniera e di conseguenza il controllo della temperatura risulta altrettanto importante quanto l'umidità relativa e fornisce spunti per un intelligente impiego delle sostanze e dei materiali per l'assorbimento dell'umidità.

1.2.3 Ventilazione

La ventilazione degli ambienti può essere attuata naturalmente attraverso la regolazione dell'apertura di porte e finestre, oppure per mezzo di apparecchiature per la circolazione dell'aria spesso collegate a sistemi di climatizzazione. Nel primo caso il controllo dell'effetto di queste manovre, apertura e chiusura finestre, risulta piuttosto difficoltoso e quel che più conta, viene spesso effettua-

to con decisioni basate su sensazioni personali: aver caldo o freddo, sentire odori o semplicemente sentire la necessità del “ricambio d’aria”. Molto raramente queste operazioni vengono fatte con termometro e igrometro alla mano per correzioni microclimatiche. Nel secondo caso, la ventilazione degli ambienti rispetterà un preciso progetto che punterà su un certo numero di ricambi d’aria nel tempo (es. 1 ricambio dell’intero volume della sala ogni ora) e sarà accompagnata da un trattamento dell’aria convogliata che sarà riscaldata, raffreddata, umidificata, deumidificata e filtrata rispettando valori prefissati.

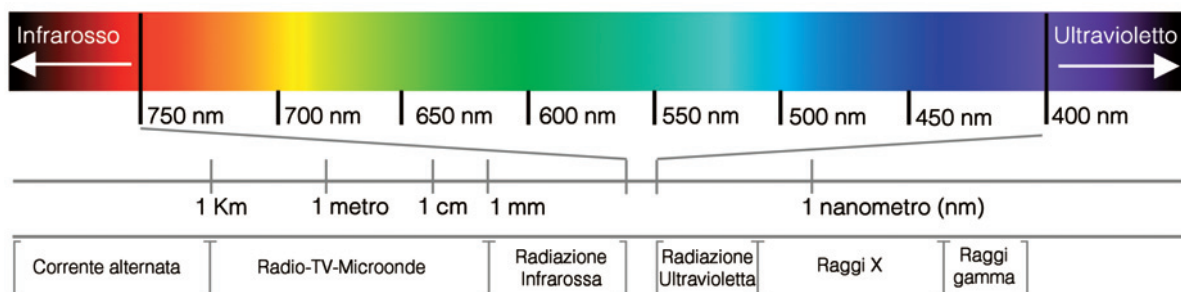
La circolazione dell’aria negli ambienti può essere misurata con l’anemometro a filo caldo che permette misure di velocità molto basse come le velocità prescritte dalle norme di sicurezza negli ambienti di lavoro, velocità che si aggirano attorno a 0.1 - 0.3 metri al secondo [7, 30].

Anche nei musei possono esservi esigenze di misure della ventilazione motivate dal controllo del benessere del personale, ma certamente questo tipo di misura può essere sollecitato da situazioni ambientali interne non idonee per la conservazione come ad esempio la correzione delle immissioni di aria dalle bocchette del sistema di ventilazione o, nel caso di ventilazione naturale, la necessità di regolare le aperture che possono introdurre negli ambienti interni l’aerosol inquinante della atmosfera urbana.

1.2.4 Luce

La luce è come sappiamo la parte dello spettro elettromagnetico che il nostro occhio può vedere. La lunghezza d’onda della luce visibile va indicativamente da 400 nanometri a 700 nanometri (fig. 1.9). La massima sensibilità dell’occhio è all’incirca a 555 nm, in corrispondenza del colore verde.

Fig 1.9 Lo spettro della radiazione visibile dall’occhio umano e ai lati la banda dell’infrarosso e dell’ultravioletto. In basso, la gamma più estesa di tutte le altre radiazioni elettromagnetiche.



La luce viene misurata attraverso le seguenti unità di misura:

Flusso luminoso è misurato in **lumen** (lm) e indica la quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo (il secondo) da una sorgente. Per energia luminosa si intende, per convenzione, quella emessa nell'intervallo da 380 e 780 nanometri che comprende quindi la radiazione infrarossa e ultravioletta.

Intensità luminosa la cui unità di misura è la **candela** (cd), indica la quantità di flusso luminoso emessa da una sorgente all'interno dell'angolo solido in direzione data. Una sorgente luminosa puntiforme emette radiazione della stessa intensità, in tutte le direzioni quindi il suo flusso luminoso si propaga uniformemente come generato dal centro di una sfera. Le sorgenti luminose artificiali non emettono luce in modo uniforme in tutte le direzioni dello spazio. I cataloghi degli apparecchi di illuminazione riportano spesso le curve fotometriche la cui conoscenza è molto importante in quanto in base ad essa è possibile verificare se l'apparecchio di illuminazione scelto distribuisce la luce nel modo richiesto.

Illuminamento la cui unità di misura è il **lux** (lx) rappresenta il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una superficie e l'area stessa. In altre parole indica la quantità di luce che colpisce un'unità di superficie.

Ecco alcuni dati di illuminamento per dare un'idea di quanto vale un lux:

- la luce del Sole mediamente varia tra i 32.000 lx (32 klx) e i 100.000 lx (100 klx);
- sotto i riflettori degli studi televisivi si hanno circa 1.000 lx (1 klx);
- in un ufficio luminoso si hanno circa 400 lx;
- in un ufficio illuminato secondo l'attuale normativa europea Uni En 12464 vi sono 500 lx
- le opere esposte in un museo non dovrebbero ricevere più di 50 lx

Lux e lumen sono due diverse misure del *flusso luminoso*, ma mentre il lumen è una misura assoluta della "quantità di luce", il lux è una misura relativa ad un'area. Così 1 lumen su un'area di 1 m² corrisponde ad 1 lux, mentre lo stesso lumen concentrato in 1 cm² corrisponde a 10.000 lux.

Luminanza la cui unità di misura è la **candela per metro quadrato** (cd/m²) è il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una superficie in una data direzione e l'area apparente di tale superficie. È importante sottolineare la differenza esistente tra illuminamento e luminanza: se la prima grandezza indica la quantità di luce emessa da una sorgente che colpisce la superficie considerata, la

seconda indica la sensazione di luminosità che riceviamo da questa superficie; ciò significa che su due superfici, una bianca e l'altra nera, possiamo avere lo stesso valore d'illuminamento, ad esempio 500 lux, ma la sensazione di luminosità ricevuta e quindi la luminanza sarà completamente differente in quanto le due superfici riflettono la luce in modo diverso.

L'intensità luminosa di una lampada e l'illuminamento, cioè la quantità di luce che arriva sull'oggetto, sono i parametri principali per la progettazione di un sistema di illuminazione di sale e di vetrine che in ogni caso dovrà tenere in considerazione la natura degli oggetti da illuminare, le raccomandazioni di conservazione e le norme di impianto e sicurezza (fig. 1.10) [4, 53, 54].

Fig 1.10 La progettazione dell'illuminazione di una sala richiede la conoscenza delle esigenze di conservazione degli oggetti e le caratteristiche illuminotecniche dell'impianto che dovrà essere installato. **a** e **b** sorgenti luminose a LED prive di emissioni IR e UV; **c** sorgente alogena a basso voltaggio, molto utilizzata per illuminazione spot.

Sintesi

RIASSUNTO DELLE UNITÀ DI MISURA CHE RIGUARDANO LA MISURAZIONE DELLA RADIAZIONE LUMINOSA

GRANDEZZA	UNITÀ DI MISURA	APPLICAZIONE
Flusso energetico	Watt W	Energia radiante elettromagnetica, per lo più rappresentata suddivisa sullo spettro (a seconda della lunghezza d'onda)
Sensibilità visiva	V	Definisce quali sezioni dello spettro (gamme di lunghezza d'onda) vengono percepite dall'occhio sotto forma di luce
Flusso luminoso	lumen lm	È il flusso energetico percepito con la sensibilità visiva e rappresenta una delle più importanti proprietà delle lampade: per quest'ultima ragione viene sempre indicato nei listini dei fabbricanti di lampade
Efficienza luminosa	lm/W	È proporzionale al rendimento del processo di trasformazione della potenza elettrica assorbito in flusso luminoso, ed è perciò uno stimolo continuo a sviluppare lampade con una maggiore efficienza luminosa e con un minor consumo d'energia
Intensità luminosa	candela cd	Rappresenta la percentuale di flusso luminoso di una sorgente luminosa in una determinata direzione. Serve per calcolare la distribuzione della luce.
Illuminamento	lux lx	Rappresenta il flusso luminoso per m ² di una superficie illuminata (1 lx=1lm/m ²). Grazie alla sua estrema semplicità è il riferimento più usato nei progetti d'impianti d'illuminazione
Luminanza	cd/m ²	Rappresenta la luminosità di lampade ed oggetti illuminati come viene recepita dagli occhi ed è il riferimento più importante per un accurata progettazione di impianti di illuminazione per ambienti di lavoro dove è importante assicurare una visione ottima



Approfondimento

LA TEMPERATURA DI COLORE

Nella scelta dell'illuminazione artificiale dobbiamo tenere conto della "temperatura di colore" (fig.1.11) e della "tonalità" che caratterizzano ogni tipo di sorgente luminosa. La temperatura di colore, la cui unità di misura è il grado Kelvin (K), ha come riferimento l'emissione del corpo nero. La parte della radiazione visibile preponderante è funzione diretta della temperatura di colore " T_c ", cioè tanto più grande è T_c tanto più si accentua la parte azzurra della radiazione, mentre per valori piccoli di T_c si accentua la parte rossa della radiazione visibile.

Ad esempio, la luce emessa da una lampada ad incandescenza ha T_c pari a circa 2.700 K, mentre la luce diurna a mezzogiorno presenta un valore di T_c pari a 6.000 K.

La tonalità della luce è funzione della temperatura di colore come possiamo vedere dai dati riportati di seguito:

- tono caldo < 3.300 K
- tono neutro 3.300 – 5.000 K
- tono bianchissimo K 5.500
- luce diurna > K 5.600



Fig 1.11 Una superficie riscaldata all'incandescenza emette prevalentemente nella gamma della luce visibile. La luce calda corrisponde alle temperature più basse, mentre la luce fredda corrisponde alle temperature più fredde.

Abbiamo indicato come caratterizzare una sorgente luminosa attraverso una serie di misure. Dobbiamo ora valutare quale tipo di illuminazione si adatti meglio alle nostre esigenze per poi scegliere fra i prodotti che sono disponibili sul mercato, suddivisi nelle seguenti categorie:

- lampade ad incandescenza
- lampade ad incandescenza ad alogeni
- lampade a scarica
- lampade fluorescenti
- diodi a emissione luminosa (LED)

L'illuminazione con fibre ottiche non va considerata come tipo di lampada ma come modo per trasportare la luce su di un oggetto,

Tab 1.1

PRINCIPALI TIPI DI LAMPADE A CONFRONTO



TIPO DI LAMPADA	VANTAGGI	SVANTAGGI
Incandescenza	Costo d'acquisto basso Dimensioni contenute Ottimo indice di resa cromatica Regolazione possibile	Breve durata Elevati costi di esercizio Elevato sviluppo di calore Bassa efficienza
Fluorescenza	Elevata efficienza Lunga durata Sviluppo modesto di calore Possibile scegliere la temperatura di colore Costo di esercizio basso	Costo iniziale elevato Sensibile alla temperatura Controllo ottico limitato È necessario un alimentatore Luce con componente UV
Alogene	Elevata efficienza Lunga durata Ottimo indice di resa cromatica Piccole dimensioni Regolazione possibile Luce bianca brillante	Elevato sviluppo di calore È necessario un alimentatore Luce con componente UV
Alogenuri metallici	Elevata efficienza Lunga durata Buona resa cromatica Buon controllo ottico Costo di esercizio basso	Costo iniziale elevato Lungo periodo di accensione È necessario un alimentatore
Sodio ad alta pressione (grandi ambienti e spazi aperti)	Elevata efficienza Lunga durata Buon controllo ottico Basso decadimento del flusso Costo di esercizio basso	Costo iniziale elevato È necessario un alimentatore Lungo periodo di accensione Bassa resa cromatica
LED (diodi a emissione luminosa)	Luce pulita priva di componente IR e UV Scelta della temperatura di colore Assenza di costi di manutenzione Bassa tensione Lunga durata Costo d'acquisto basso	È necessario un alimentatore

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]

Per concludere: spesso si parla di luce fredda in modo improprio. Il termine “luce fredda” è riferito alla temperatura di colore della luce attorno ai 10.000 gradi kelvin. Il termine luce fredda non va quindi inteso come “lampada fredda” che è altra cosa che può essere realizzata in molti modi allontanando la lampada dal punto da illuminare o trasportando la luce con fibra ottica.

1.2.5 Vibrazioni

I materiali hanno un'elasticità variabile in funzione dello stato di aggregazione proprio di ogni sostanza che li compone. Una perturbazione esterna al materiale determina un moto oscillatorio, rispetto alla situazione di equilibrio, producendo le vibrazioni meccaniche.

Le vibrazioni possono essere differenziate, sotto il profilo fisico, in funzione della frequenza, della lunghezza d'onda, dell'ampiezza, della velocità e dell'accelerazione.

Gli oggetti nei musei subiscono continue vibrazioni la cui frequenza può danneggiare la loro struttura. Le vibrazioni a bassa frequenza possono essere generate da attività sismica, mentre spesso negli edifici situati in centri urbani sono presenti vibrazioni a frequenza più elevata generate dal traffico veicolare. Per entrambe le situazioni possono essere predisposti rimedi.

Attualmente l'ingegneria sismica può contare su due moderne tecniche, ormai pienamente affermate ed estremamente efficaci: l'isolamento sismico e la dissipazione energetica. Il principio su cui si basa l'isolamento sismico è sostanzialmente quello delle sospensioni delle automobili: gli edifici, o i manufatti da isolare, vengono posti su dispositivi, chiamati isolatori sismici, costituiti da strati alternati di gomma e acciaio che conferiscono al sistema di appoggio un'elevata rigidità verticale (per sostenere il peso della struttura) ed una bassa rigidità orizzontale, che assorbe e riduce significativamente le accelerazioni imposte dal terremoto con conseguenti benefici non solo alla struttura, ma anche ai suoi contenuti. La dissipazione energetica invece aiuta la struttura a smaltire l'energia introdotta dal terremoto grazie a particolari dispositivi, detti dissipatori energetici, installati fra due punti della struttura soggetti a spostamenti relativi; ciò può essere fatto per esempio collegando 'pavimento' e 'soffitto' tramite appositi controventi, che possono essere disposti in diagonale o in altre configurazioni. La dissipazione dell'energia può avvenire nei modi più svariati a seconda del tipo di dispositivo (viscoso, elastoplastico, viscoelastico) e del materiale usato (olio, acciaio, gomma).

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

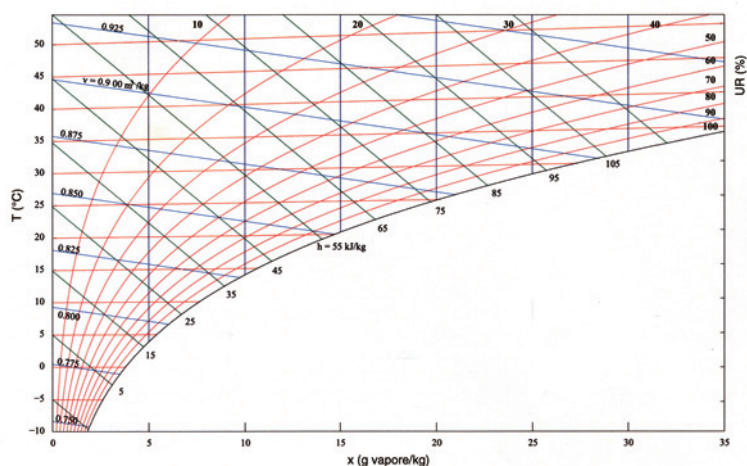
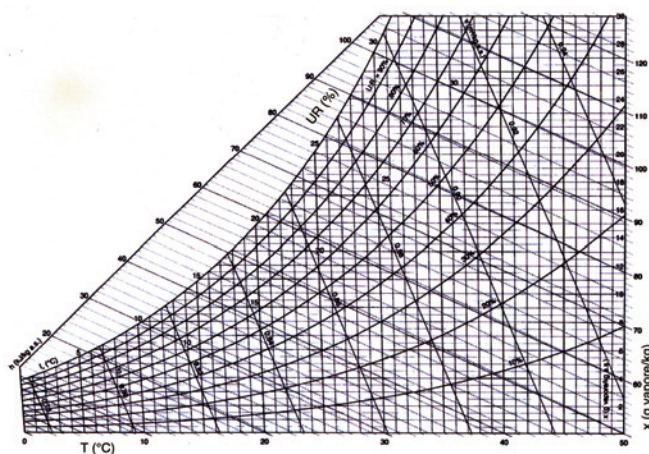


Fig 1.12 Diagramma di Mollier (in alto) e carta psicrometrica (in basso) per ricavare attraverso le misure di temperatura, l'umidità relativa, l'umidità specifica e la temperatura di rugiada quando si debbono affrontare problemi di evaporazione e condensazione di acqua sulle superfici.



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, 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

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 data-logger (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

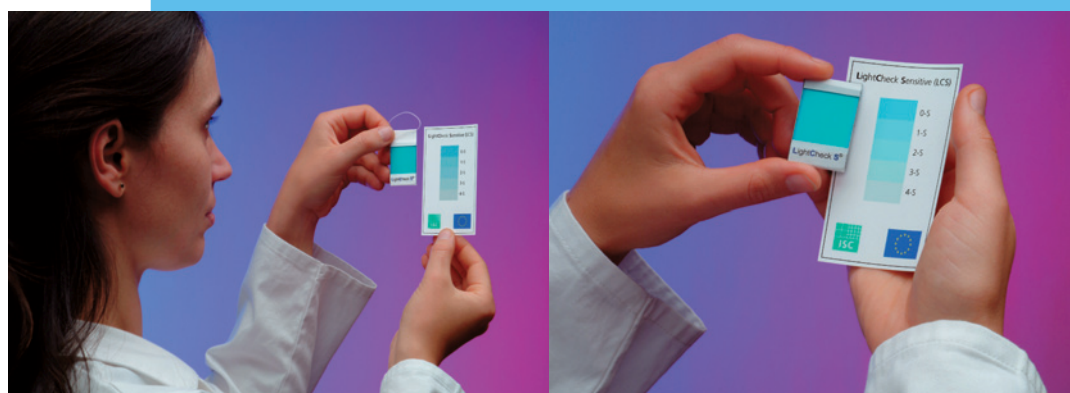


Fig 1.14 *LightCheck® è un nuovo strumento per valutare la quantità di luce ricevuta da un oggetto anche sotto luce debole come 50 lux per alcuni mesi.*

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.

CAPITOLO

2



L'invecchiamento dei materiali

La conservazione preventiva degli oggetti, generalmente costituiti da materiali di diverso tipo, richiede la conoscenza di base di fenomeni di natura fisica, chimica e biologica strettamente correlati fra loro.

I materiali e gli oggetti subiscono modifiche a causa dei meccanismi chimico-fisici di trasformazione cui sono naturalmente soggetti. Le dinamiche di questo fenomeno, detto anche “processo di deterioramento”, dipendono in parte da cause interne legate alla instabilità intrinseca dei materiali costitutivi e dai processi di lavorazione; in parte da cause esterne legate alle condizioni di conservazione. L'invecchiamento dei materiali è quindi un processo spontaneo, irreversibile che non può essere fermato; noi possiamo solo tentare di rallentarlo proteggendo gli oggetti e i manufatti dall'azione dei numerosi agenti di degradazione che concorrono ad aumentarne la velocità.

La prevenzione assume quindi un ruolo fondamentale ai fini della conservazione intendendo per prevenzione una serie di misure atte a proteggere gli oggetti nei luoghi preposti affinché possano durare il più a lungo possibile.

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 parenchimatica (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 deteriorene
- 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 necessario 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 tenore

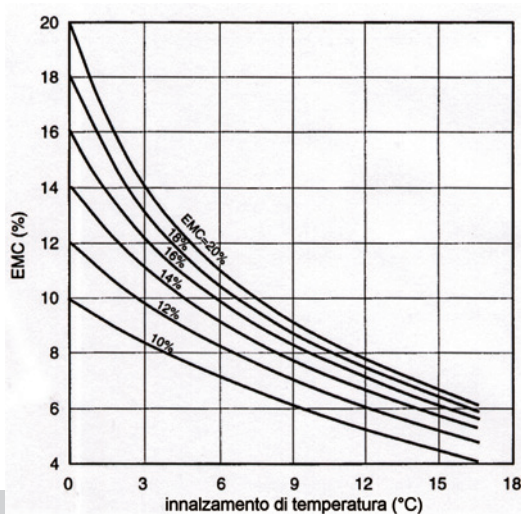


Fig 2.2 Variazione del contenuto idrico (EMC) nel legno quando viene innalzata la sua temperatura iniziale.

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.*

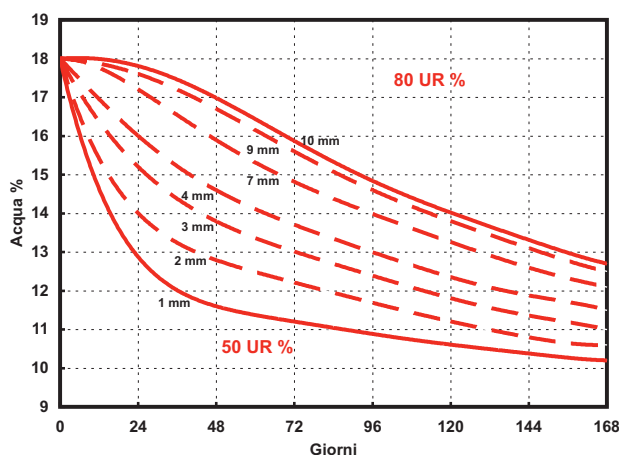
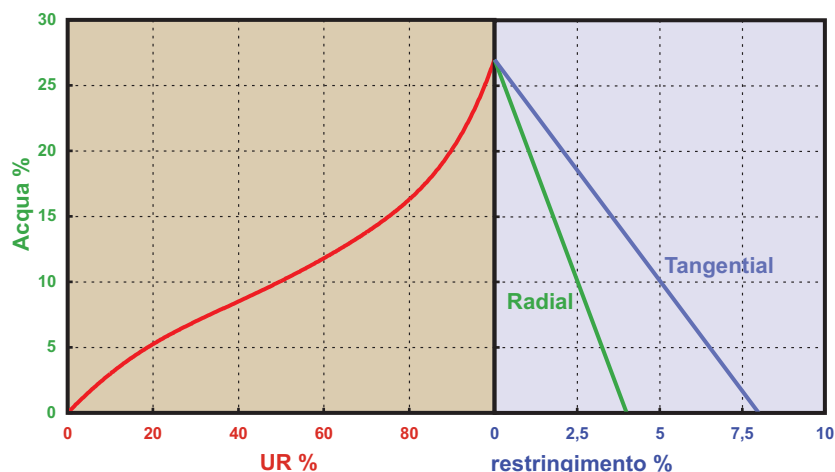


Fig 2.4 *Tasso di perdita d'acqua nel tempo, di una tavola di legno di differente spessore.*

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-

LEGENDA

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_0 temperatura valore consigliato °C

$\Delta T_{\max}$ differenza relativa al valore massimo °C

UR_0 umidità relativa valore consigliato %

$\Delta UR_{\max}$ 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_0	$\Delta T_{\max}$	UR_0^1	$\Delta UR_{\max}$	$E_{\max}$	$UV_{\max}$	$LO_{\max}$
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

Tab 2.1b



BENI DI INTERESSE STORICO ED ARTISTICO	T ₀	ΔT _{max}	UR ₀ ¹	ΔUR _{max}	E _{max}	UV _{max}	LO _{max}
MATERIALI/OGGETTI DI NATURA ORGANICA							
Lacche, mobili intarsiati, decorati o laccati	da 19 a 24	1,5	da 50 a 60	4	50	75	0,2
Sculpture 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	0,2
Sculpture 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, metalli levigati, 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	0,2
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	0,2
Film, fotografie a colori	da 0 a 15	-	da 30 a 45	-	50	75	0,2
Film, fotografie in bianco e nero	da 0 a 15	-	da 30 a 45	-	150	75	0,2
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, può risultare molto pericoloso. Per proporre un valore di UR₀ 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., MAGGI 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, Aspergillus, 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, Anthirrinum, 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., MAGGI 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 < 4*	19-24	1,5
CARTA	pastelli, acquerelli libri e manoscritti materiale grafico	40-55	6	18 - 22	1,5
		< 65		< 10	
		45-55	5	< 21	3
		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)

Tab 2.6

INSETTI CHE PIÙ COMUNEMENTE DANNEGGIANO I MATERIALI ARCHIVISTICI



ORDINE	FAMIGLIA	DANNO	MATERIALI DANNEGGIATI
BLATTOIDEA	Blattellidae Blattidae	Erosioni superficiali a contorno irregolare	Carta, pergamena, adesivi di origine animale e vegetale
THYSANURA	Lepismatidae	Erosioni superficiali a contorno irregolare, si differenziano da quelle delle blatte perché più piccole	Carta, adesivi di origine animale e vegetale
ISOPTERA	Rhinotermitidae Kalotermitidae Termitidae	Voragini o producono erosioni estese profonde, di forma irregolare	Carta, pergamena, materiali plastici
PSOCOPTERA	Liposcelidae	Minutissime erosioni a contorno irregolare (si nutrono di funghi microscopici presenti sui materiali)	Carta, adesivi di origine vegetale
	Anobidae	Scavano gallerie tortuose a sezione circolare	Pergamena, adesivi di origine animale, materiali plastici
COLEOPTERA	Dermestidae	Perforazioni irregolari e gallerie superficiali	Pergamena, adesivi di origine animale, carta, materiali plastici
	Lvtidae	Erosioni superficiali	Carta, materiali plastici

Da GALLO F., PASQUARIELLO G., VALENTI P., 1988: Biblioteche ed archivi. in *Aerobiologia e beni culturali. Metodologie e tecniche di misura*. A cura di MANDRIOLI P., CANEVA G., Nardini Editore, Fiesole, pp.193-213.

Una infestazione di un locale di deposito d'archivio, favorita da una grande disponibilità alimentare, è causata principalmente da errate condizioni ambientali di conservazione. Una umidità relativa dell'aria superiore al 65%, una temperatura superiore ai 20 °C ed una illuminazione inesistente sono, infatti, parametri ambientali che favoriscono un attacco entomologico dei beni conservati.

A questo, poi, si aggiungono le croniche carenze dei locali, come le finestre non munite di zanzariere a trama fitta che consentono un facile ingresso agli insetti provenienti dall'esterno.

Un'altra causa molto importante d'infestazione è rappresentata dall'acquisizione di nuovi fondi non sottoposti preventivamente al controllo del conservatore d'archivio. È buona norma, infatti, sottoporre il materiale versato ad un controllo in una stanza che può essere definita di "quarantena". In questo locale, il materiale deve essere sottoposto a frequenti ispezioni per individuare quelle tracce (polvere di rosura, resti di insetti, ecc.) che possono indicare un'eventuale infestazione.

Negli archivi, recentemente, si è introdotto l'uso delle trappole entomologiche allo scopo di monitorare l'entomofauna eventualmente presente per realizzare mirate metodologie di intervento.

La valutazione di una infestazione in atto sulla documentazione implica la cattura in ambiente degli insetti. Sui campioni raccolti,

sottoposti a preparazione tassonomica, va effettuata l'analisi morfologica, con l'ausilio di uno stereomicroscopio, per l'identificazione delle specie dannose al materiale archivistico.

L'esame del danno, entro certi limiti, consente all'entomologo il riconoscimento dell'agente distruttore anche se non sono presenti esemplari vivi o morti responsabili del danno.

Solamente dopo un'accertata presenza vitale d'insetti biodeteriogeni è consigliabile procedere con trattamenti di disinfestazione.

2.4.3 Materiali inorganici

2.4.3.1 Materiali lapidei

In quanto materiali di natura inorganica, i microrganismi ed organismi più dannosi sono soprattutto quelli autotrofi, che, come si è

Approfondimento



LE TRAPPOLE ADESIVE ENTOMOLOGICHE

L'uso delle trappole adesive entomologiche è iniziato negli ambienti di conservazione di derrate alimentari e successivamente è stato esteso agli ambienti ospedalieri. Attualmente se ne è compresa l'importanza anche negli ambienti museali, dove è inserito nei programmi di controllo. In depositi di vaste dimensioni è, infatti, difficile individuare infestazioni se non quando esse raggiungono vaste proporzioni. Catturare insetti che si posano casualmente sulle trappole e poi sottoporli ad identificazione allo scopo di individuare le specie dannose alla documentazione costituisce un valido aiuto all'attività di prevenzione, fondamentale in ogni ambiente di conservazione.

Non tutta l'entomofauna può essere catturata dalle trappole: esistono specie che, allo stadio larvale, vivono all'interno dei supporti e allo stadio adulto, pur sfarfallando, rimangono nelle immediate vicinanze dei supporti. Tali specie sono

difficilmente catturabili. L'assenza di insetti sulle trappole non può quindi garantire l'assenza di infestanti in un ambiente confinato.

Esistono trappole di vario tipo che possono essere dotate di attrattivi chimici, alimentari o elettronici. Ai primi, appartengono *feromoni* che servono agli insetti per comunicare tra loro; sono molto specifici e sono disponibili chimicamente solo per alcune specie. In un ambiente dove è sconosciuta l'entomofauna presente si ha, però, la difficoltà di scegliere il feromone da utilizzare. Gli attrattivi alimentari per le specie dannose alla documentazione non sono attualmente disponibili in commercio. Gli attrattivi elettronici possono causare danni, se non correttamente utilizzati, al materiale conservato in ambiente archivistico. Le trappole utilizzate negli ambienti di conservazione sono costituite da cartone e hanno una superficie provvista di colla; possono essere per insetti striscianti e per insetti

volanti. Le prime, poste sulle scaffalature o lungo il perimetro del pavimento, almeno una a lato, catturano casualmente gli insetti mobili che camminano, sia allo stadio adulto che allo stadio larvale.

Le trappole per insetti volanti, a pannello verticale, appese davanti alle finestre con il lato collato rivolto verso l'interno dell'ambiente, catturano gli insetti adulti alati e fototropici.

Le trappole devono essere contrassegnate per individuare la posizione originaria, una volta rimosse.

Nei depositi archivistici attualmente si sta diffondendo l'uso di trappole adesive prive di attrattivo per insetti volanti fototropici. Infatti, a causa delle numerose problematiche legate al monitoraggio di grandi quantità di materiale, è stato ritenuto sufficiente almeno in una prima fase monitorare questi insetti che rappresentano il gruppo più numeroso dei biodeteriogeni riscontrabili nei depositi archivistici.



Fig 2.5 Licheni su una statua di pietra (foto A. Roccardi).

già ricordato, sono essenzialmente alcuni batteri del ciclo dell'azoto e dello zolfo, cianobatteri, alghe, licheni, muschi e piante superiori. L'attacco da parte di eterotrofi, quali in particolare funghi e attinomiceti, può essere di genesi secondaria, quando risultino presenti sostanze organiche di varia origine e costituzione. L'alterazione indotta dall'attacco biologico varia dalla formazioni di patine, pellicole e incrostazioni superficiali, nel caso di organi-

Sintesi

I MATERIALI INORGANICI

I materiali inorganici come i metalli, il vetro, i materiali lapidei e le malte, costituiscono la parte dei beni culturali generalmente meno soggetta a deterioramento all'interno dei musei, degli archivi e dei palazzi storici, ma egualmente sottoposta a lento ma inesorabile invecchiamento. I principali fattori ambientali di rischio sono:

- clima: inadeguata umidità e temperatura possono produrre condensa di acqua sulle superfici con dissoluzione delle polveri depositate
- fenomeni di capillarità
- inquinamento di gas e polveri: deposizione di aerosol sulle superfici proveniente da sorgenti interne e esterne, fenomeni di corrosione, formazione di strutture cristalline superficiali, ossidazione e carbonatazione
- microbiologia: formazioni di patine batteriche e algali in condizioni di forte disponibilità di acqua e luce sulle superfici.

Il controllo su questo tipo di materiali è spesso superficiale in quanto ritenuti a ragione resistenti al degrado; è tuttavia consigliabile un controllo periodico programmato per un esame delle superfici e la spolveratura.

smi epilitici, a fenomeni di pitting, esfoliazione, fratturazione, polverizzazione o distacco di parti del substrato, nel caso di organismi endolitici o dotati di strutture capaci di penetrazione (fig. 2.5). La possibilità di uno sviluppo biologico su questi materiali è condizionata, oltre che da caratteristiche intrinseche dei materiali (natura dei litotipi e loro porosità), soprattutto dalle condizioni espositive e in particolare dall'apporto di acqua; a seconda delle specie coinvolte, altri fattori condizionanti sono la luce, la ventilazione, la temperatura e l'eventuale aggiunta o deposizione di sostanze organiche. I maggiori rischi di attacco biologico si hanno quindi soprattutto in ambienti esterni, ma tali fenomeni non sono del tutto trascurabili in ambienti confinati, soprattutto se umidi e se sono presenti materiali organici aggiunti o provenienti dal contatto con la terra (es. chiese ed ipogei). Per informazioni più dettagliate sui processi generali di biodeterioramento si rimanda ad alcuni testi di riferimento [17,36,43,52,59,74].

Fig 2.6 Effetti di corrosioni sul bronzo, Museo bronzi dorati, Pergola (PU).



2.4.3.2 Vetro

La corrosione biologica può essere imputata ad organismi quali batteri, alghe, licheni e talvolta anche funghi, che possono dar luogo ad opacizzazione della superficie, formazione di macchie scure all'interno del materiale, annerimento o formazione di microfori (pits) sulla superficie esterna o interna.

Il danno operato dallo sviluppo lichenico sulle superfici esterne all'edificio è stato riscontrato soprattutto nel caso di vetri di vecchie cattedrali, dove sono segnalati

casi di opacizzazione ed iridescenza delle superfici con formazioni di buchi di non trascurabile profondità e larghezza (5-6 mm). Le specie identificate sono risultate non specifiche e frequenti anche nella colonizzazione dei materiali lapidei.

Ricerche sul biodeterioramento dei materiali vetrosi sono state compiute sporadicamente e soprattutto nel passato limitandosi a segnalare specifici casi di alterazione [48,82].

2.4.3.3 Metalli

La corrosione biologica dei metalli è normalmente operata soprattutto da alcuni ceppi batterici (es. solfobatteri e ferrobatteri), ad eccezione del caso di materiali sommersi o esposti al ristagno idrico prolungato, che esulano dal contesto in esame (fig. 2.6).

L'attacco biologico, seppure sia stato dimostrato sperimentalmente, è spesso difficilmente riconoscibile da quello di natura esclusivamente elettrochimica. I meccanismi con cui può avvenire sono il rilascio di specifici prodotti metabolici, in particolare acidi, la formazione di celle di aerazione, con formazione di gradienti di ossigeno, e la formazione di concentrazioni differenziali di elementi chimici, la depolimerizzazione catodica, la rottura di film protettivi e l'utilizzazione di inibitori di corrosione [4,66,67].

2.4.4 Materiali organici

2.4.4.1 Carta

L'attacco biologico dei materiali cartacei è imputabile soprattutto ad organismi cellulosolitici, in grado cioè di scindere la cellulosa, quali alcuni batteri, tra cui attinomiceti, e funghi. La presenza del complesso enzimatico della cellulasi, costituito da glicoproteine in parte extra ed in parte intracellulari, permette di catalizzare specifiche azioni di progressiva rottura del polimero. Analogamente ai complessi cellulosolitici alcuni funghi producono xilanasi, mannanasi ed altre complesse glicanasi, emesse sia all'esterno che all'interno della cellula [34]. Tutti i Basidiomiceti che attaccano il legno, molti Ascomiceti, Deuteromiceti e molte Mucorales sono capaci di degradare le emicellulose.

I danni prodotti dalle diverse specie batteriche e fungine variano da fenomeni di erosione alla formazione di macchie e pigmentazioni più o meno rilevanti. Fra queste includiamo anche il fenomeno del *foxing* (fig. 2.7), che si manifesta sotto forma di macchie di colore ruggine, con forma e dimensioni variabili, assai frequenti nelle carte antiche: la genesi biologica di questo fenomeno risulta in realtà ancora controversa per la concomitanza di fenomeni degradativi anche di tipo chimico.

Come per tutti i materiali igroscopici l'attacco biologico è anche funzione della umidità relativa (UR) ambientale, che determina livelli differenziali di assorbimento di acqua. Quando si determina un contenuto in acqua maggiore del 10%, come spesso avviene a condizioni di $UR > 60\%$, alcune specie fungine riescono a germinare e svilupparsi; valori più elevati sono generalmente richiesti per un attacco batterico e in ogni caso il rischio diventa proporzionalmente maggiore all'aumentare dell'umidità. Nel caso di

Fig 2.7 Fenomeno del foxing su carta.



materiali completamente saturi di acqua, come può avvenire a seguito di allagamenti e inondazioni, si può verificare sia una solubilizzazione dei materiali di carica (colle, talco, caolino) che precipitano e si compattano, sia un consistente attacco batterico e fungino, con produzione di oligosaccaridi con proprietà mucose e metaboliti secondari di natura viscosa; tutto ciò può portare al “consolidamento” di libri in blocchi.

Maggiori informazioni sui processi di degrado biologico della carta sono sviluppate in alcune monografie tematiche [5,16,24, 29,42,71].

2.4.4.2 Legno

La complessità della struttura chimica del legno e la non facile degradazione biologica della cellulosa e della lignina, polimero complesso e ramificato derivato da unità modificate di fenilpropano, fanno sì che la sua alterazione sia limitata ad alcuni gruppi di organismi che possiedono complessi enzimatici specifici.

I processi di degrado biologico dei materiali cellulosici sono gli stessi della carta; per quanto riguarda il meccanismo di degradazione della lignina, le principali tappe sono la depolimerizzazione della struttura di base, la rimozione e modificazione delle catene laterali con sostituzione sugli anelli benzenici e il successivo attacco degli anelli aromatici. Sono richiesti circa quindici enzimi per completare l'ossidazione dei polimeri della lignina, tra cui ligninasi (perossidasi), che reagiscono generando radicali liberi come intermedi e diossigenasi che rompono gli anelli aromatici.

Con l'eccezione di alcuni batteri e, fra i funghi, alcuni Deuteromiceti (le muffe) e soprattutto Ascomiceti e Basidiomiceti, funghi normalmente non presenti su legni esposti in ambienti interni, pochi sono comunque i microrganismi capaci di utilizzare la lignina producendo nel legno più o meno vistose alterazioni, spesso chiamate “carie”. Ancora più rara è la capacità di alcuni batteri e funghi di degradare i tannini; queste sostanze a molecola complessa possono avere effetti inibitori dello sviluppo nei confronti della maggior parte dei microrganismi.

Affinché i microrganismi possano attaccare il legno generalmente si deve realizzare un contenuto di acqua del materiale superiore al 20%. Considerando l'igroscopicità del legno, si devono raggiungere valori di UR superiori al 65-70%, che risultano quindi critici ai fini della sua conservazione. Per analoghe motivazioni va evitato il contatto diretto del legno con murature umide che possono originarsi per scarso isolamento di fondazioni e tetti. Anche temperature elevate sono generalmente favorevoli per un più rapido sviluppo biologico, tanto che nei climi tropicali il fenomeno



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 cellulosolitici, 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 cellulosiche 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-

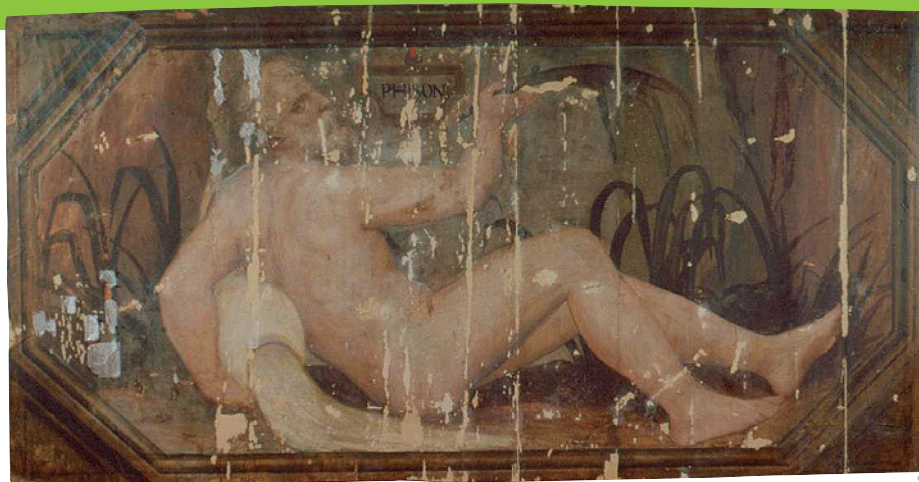


Fig 2.11 *Tavola dipinta conservata in deposito: sono visibili danni da stress termoigrometrico.*

si di fabbricazione, come pure dell'aggiunta di materiali organici. Analoghi effetti possono derivare da condizioni ambientali sfavorevoli, quali l'esposizione ai raggi UV o a sostanze acide o alcaline. La concia, soprattutto nel caso di trattamenti al cromo, riduce invece il rischio di un attacco biologico.

Come nel caso degli altri materiali organici che presentano caratteristiche igroscopiche, un'elevata umidità dell'aria determina un maggiore rischio di attacco biologico. Analogamente rapidi cambiamenti delle condizioni igrometriche favoriscono la germinazione delle spore presenti nell'aria e quindi i processi di degrado biologico.

Maggiori informazioni sui processi di degrado biologico di pergamene e cuoio sono sviluppate nella bibliografia specifica [27,44,70].

2.4.4.5 Dipinti mobili

Oltre ai fenomeni di degrado specifici delle singole categorie di supporto, vi è la possibilità che i materiali aggiunti per l'esecuzione delle pitture siano degradati da organismi biologici.

In linea generale si può osservare che quando vengano aggiunti materiali organici, soprattutto leganti come colle, gomme, uovo, o pigmenti alla caseina e all'uovo, la suscettibilità all'attacco biologico diviene consistente, in quanto tali sostanze sono una potenziale fonte di nutrimento per un vasto gruppo di microrganismi eterotrofi, quali batteri e funghi (fig. 2.11).

Le sostanze a base di amido, a differenza di quelle cellulosiche, sono facilmente degradate da molti microrganismi. Analogamente alla cellulosa, l'amido è un polimero del glucosio. Gli enzimi che degradano l'amido sono comuni enzimi extracellulari idrolizzanti

che portano alla formazione di maltosio e frazioni ad alto peso molecolare. La presenza di amido nei dipinti su tela è spesso connessa all'uso di una colla a base di farina "colla di pasta" nella foderatura di supporti tessili deteriorati; questa tecnica di restauro consiste nell'incollaggio di una nuova tela su quella vecchia danneggiata. La grande suscettibilità all'attacco biologico dell'amido fa sì che, se le condizioni ambientali lo permettono, proprio le opere restaurate in cui si sia fatto uso di queste sostanze siano le più attaccate da microfunghi.

Anche le sostanze lipidiche risultano in genere facilmente utilizzabili da vari gruppi fungini e batterici capaci di attaccare acidi grassi e trigliceridi tramite lipasi.

Alcune sostanze aggiunte nell'esecuzione delle opere possono invece interferire negativamente con la possibilità di uno sviluppo microbico, come nel caso di pigmenti a base di metalli pesanti, quali quelli a base di piombo e zinco. Le vernici di finitura, in virtù delle loro caratteristiche di idrorepellenza, possono avere un'analoga funzione protettiva.

Condizioni microclimatiche sfavorevoli si possono creare nel caso di dipinti su tela soprattutto sul retro del dipinto, dove le condizioni stabili, la scarsa aerazione e la maggior umidità per contatto con superfici relativamente più fredde e umide, possono essere favorevoli allo sviluppo di muffe, che, penetrando poi all'interno del supporto, possono causare piccole fratture e distacco di frammenti dello strato pittorico.

2.4.4.6 Materiali plastici

Le plastiche e i materiali che le compongono, a causa dell'impatto ambientale che deriva dal loro largo impiego, sono prodotti largamente studiati sotto l'aspetto della stabilità e del loro destino. A questo riguardo le plastiche sebbene non siano generalmente tossiche, sono per lo più resistenti all'attacco microbico e, a causa di una struttura chimica diversa da quella dei composti naturali, più difficilmente vengono completamente degradate dai microrganismi presenti nell'ambiente, con il rischio pertanto di accumulo. Tuttavia anche le materie plastiche possono subire con il passare del tempo trasformazioni chimiche e fisiche dovute all'azione combinata di agenti atmosferici (esposizione alla luce, calore, pioggia, ossigeno, vento, ecc.) e di microrganismi che ne modificano le proprietà [60].

Inoltre frequentemente si è potuto constatare che in condizioni caldo-umide, particolarmente favorevoli allo sviluppo microbico, questi materiali, soprattutto se a base di carbonio, vengono colo-

nizzati e danneggiati da microrganismi. Ad esempio nei magazzini dei musei, dove spesso l'ambiente è caratterizzato da condizioni di scarsa ventilazione abbinata ad elevati tenori di umidità e temperatura, è frequente che dipinti moderni presentino alterazioni sotto forma di piccole macchie scure connesse allo sviluppo di funghi. Anche negli ambienti ipogei, particolarmente umidi, spesso l'uso di resine a scopo protettivo su dipinti murali può manifestare attacchi fungini. I più frequenti microrganismi deteriogeni dei materiali sintetici sono infatti soprattutto i funghi (*Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Penicillium luteum*, *P. funiculosum*, *P. pullularia*, *Chaetomium* e *Trichoderma*) e, solo in minor misura e in condizioni di elevatissima umidità, che si realizzano soprattutto nei casi di interrimento, i batteri.

Sarebbe troppo lungo elencare la diversa suscettibilità al degrado biologico dei vari prodotti di sintesi utilizzati nel settore dei beni culturali, ma si possono comunque riportare alcune considerazio-

Sintesi

I MATERIALI ORGANICI

I materiali organici come la carta, il legno, il cuoio e i tessuti costituiscono una parte consistente dei beni culturali dei musei, degli archivi e dei palazzi storici. Essi sono i materiali più vulnerabili al deterioramento e possono presentare i seguenti **tipi di danno**.

- **dipinti:** scolorimento, screpolature, sporcizia.
- **tessuti:** resistenza ridotta, cambiamento di colore e sbiadimento.
- **carta:** infragilimento, macchie e sbiadimento.
- **legno:** rotture, decomposizione e polverizzazione superficiale.
- **cuoio:** indebolimento e polverizzazione superficiale.
- **gomma e polimeri:** infragili-

mento e sbiadimento.

Gli oggetti costituiti da questi materiali vanno preservati in vetrine adatte.

I principali fattori ambientali di rischio nei musei, archivi ed edifici storici sono:

- **clima** inadeguata umidità, temperatura e luce
- **inquinamento di gas e polveri** sorgenti indoor e outdoor
- **microbiologia** attacchi fungini, batterici, algali e insetti

CLIMA

Umidità relativa, umidità specifica, temperatura, luce sono tutti importanti fattori che debbono essere monitorati.

La limitazione delle fluttuazioni di umidità relativa è importante nella conservazione preventiva

dei materiali organici. Luce e radiazione ultravioletta vanno monitorate per gli oggetti fotosensibili.

I risultati di molti studi dimostrano che i parametri che influenzano il microclima sono: spessore e isolamento dei muri, scambi esterno-interno, sistemi di ventilazione, riscaldamento, radiazione solare e numero di visitatori.

INQUINAMENTO

I risultati del monitoraggio di musei mostrano che le concentrazioni di inquinanti indoor e outdoor dipendono dal tipo di edificio e dal suo uso.

MICROBIOLOGIA

Gli attacchi fungini su oggetti esposti in vetrine o sistemati

ni generali che spiegano la diversa sensibilità al biodeterioramento di tutti i polimeri complessi. È noto infatti che, a parità di condizioni ambientali, la possibilità o meno che si realizzi un attacco biologico ad un polimero dipende dagli elementi chimici di base, dal tipo di legame intermolecolare, dal grado di polimerizzazione, dal livello di aggregazione delle molecole oltre che dal grado di solubilità o affinità per l'acqua, dal livello di idratazione e dalla presenza di frazioni monomeriche libere. Inoltre le sostanze estranee al polimero sintetico facilmente metabolizzabili possono consentire un successivo attacco anche a sostanze più resistenti. È per i motivi sopra elencati che ad esempio i prodotti sintetici emulsionabili sono più facilmente attaccati o che in presenza di sostanze plasticizzanti o frazioni monomeriche carboniose si possa creare rapidamente uno sviluppo di microrganismi. Particolarmente frequenti su questi materiali sono funghi in grado di produrre enzimi adattativi o enzimi esterici. Se inoltre abbastanza raramente i polimeri di sintesi possono fungere da substrato di crescita dei microrganismi (con eccezione di poliolefine, poliuretano, alcuni poliesteri), invece i plasticizzanti spesso possono fungere da ottimi nutrienti per la microflora [67].

Le ricerche sul degrado biologico dei vari materiali sintetici sono nella maggior parte dei casi ancora in corso e nel settore della conserva-

nei magazzini con alta umidità rappresentano un caso molto frequente nei musei. La presenza di batteri può costituire un ulteriore rischio.

Ulteriori ricerche, coordinate fra le diverse istituzioni, sarebbero necessarie sui seguenti argomenti:

- risposta dei materiali ai cambiamenti microclimatici
- misura delle emissioni indoor da materiali e umani
- reazioni secondarie fra gas e prodotti secondari della chimica indoor
- deposizione secca delle particelle e i modi con i quali le particelle invecchiano o reagiscono con le superfici
- nuovi sensori multifunzionali per gli inquinanti nei musei
- sviluppo di strategie di gestione integrate.

Approfondimento

LONGEVITÀ DELLE SPORE FUNGINE

Uno studio finalizzato a valutare l'influenza delle particelle aerodisperse sui processi di biodeterioramento dei materiali librari e archivistici non può prescindere dalla conoscenza degli agenti causali di tali processi. Le indagini condotte hanno evidenziato che almeno 200 specie di microrganismi possono causare alterazioni cromatiche (macchie di vario aspetto, colore e intensità) e strutturali (fluidificazione dello strato sensibile delle pellicole fotografiche, fragilità, perforazioni, distruzione di carte, pergamene, cuoi, stampe fotografiche ecc.) I batteri che si riscontrano più frequentemente su carta appartengono ai generi *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Cellfalcicula*, *Cellvibrio*. Gli agen-

zione delle opere d'arte sono rivolte principalmente allo studio dei materiali proposti per il restauro; questi studi si propongono di definire la diversa suscettibilità al degrado biologico delle varie categorie di prodotti e di comprendere il tipo di danni che può essere indotto dallo sviluppo microbico alle caratteristiche fisico-chimiche delle sostanze. Molte ricerche sono inoltre indirizzate

Approfondimento

LONGEVITÀ DELLE SPORE FUNGINE

ti microbici deteriotigeni della pergamena sono in prevalenza *Bacillus subtilis* Cohn., *Serratia marcescens* Bizio, *Nocardia* sp.

Per quanto riguarda i funghi, quelli che si rinvenivano più spesso su libri e documenti, anche in paesi aventi caratteristiche climatiche diverse dall'Italia, sono in misura prevalente Deuteromiceti appartenenti ai generi *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Stemphylium*, *Alternaria*, e in misura minore Mucorales e Ascomyceti.

Da indagini statistiche è emerso che le più elevate percentuali di infezioni nelle biblioteche sono dovute agli aspergilli (circa il 30%) e ai penicilli (oltre il 30%) e che le parti del libro più attaccate sono le prime e ultime pagine, i margini esterni e le legature.

I risultati di tali indagini trovano una spiegazione nella capacità che hanno alcune specie, peraltro ubiquitarie, di germinare anche a valori di poco superiori al 60%.

Per quanto riguarda i motivi della maggiore biodegradabilità delle parti più esterne dei volumi, questi sono facilmente comprensibili se si considera che esse entrano per prime in equilibrio con l'ambiente e pertanto, se questo è umido, raggiungono più rapidamente il contenuto percentuale di acqua che con-

sente alle spore, eventualmente presenti, di germinare. Un altro fattore che gioca un ruolo determinante è la maggiore igroscopicità dei materiali (cartoni, cuoi, pergamene ecc.) che in genere costituiscono le legature.

In letteratura è segnalata la possibilità di processi di degradazione ad opera di spore microbiche presenti sui materiali anche da lungo tempo (12-35 anni). Tuttavia è da rilevare che nei lavori cui si riferiscono questi dati non sono indicate le condizioni ambientali nelle quali i materiali sono stati conservati. Viceversa esistono dati sperimentali relativi ai tempi di sopravvivenza di conidi conservati in condizioni controllate [27], come mostra la tabella 2.7.

Sebbene la microbiologia applicata ai beni culturali abbia come oggetto precipuo lo studio delle specie batteriche e fungine che li degradano, tuttavia se si vuole esaminare il problema nella sua interezza non si possono non valutare altri due aspetti di ordine igienico. Il primo riguarda la possibile presenza nel particellato aerobiologico degli ambienti di conservazione di spore di funghi deteriotigeni per tali beni e patogeni per l'uomo. Il secondo aspetto riguarda quei microrganismi, non deteriotigeni per i materiali librari e patogeni per l'uomo, i quali

trovano talvolta un pabulum su tracce di sostanze organiche (saliva, muco ecc.) lasciate dal lettore.

I processi di biodeterioramento avvengono se le condizioni ambientali sono favorevoli per la germinazione delle spore. Pertanto l'aeromicroflora costituisce un reale e immediato pericolo di infezione se si deposita su libri e documenti conservati in un ambiente umido e se il loro contenuto di acqua supera la soglia di rischio (10% per la carta e il cartone, 14-15% per il cuoio, la pergamena e il legno). Tale pericolo è tanto più elevato quanto più alti sono i livelli igrometrici del locale e l'igroscopicità dei materiali.

Diversa è la situazione se l'umidità relativa, nel momento in cui le aerospore si depositano, è inferiore al 60-65%. In questo caso, infatti, restano inattive e costituiscono una fonte potenziale ma non reale di infezione fino a quando non si verificano quelle condizioni, alle quali si è già accennato, che consentono il loro sviluppo. Ciò può avvenire dopo giorni, settimane, mesi o addirittura anni. È evidente quindi che la conoscenza del tempo massimo di conservazione della vitalità delle spore fungine presenti sia su materiali igroscopici (carta, cuoio, pergamena ecc.), sia su superfici inerti (pianali di scaffali metallici,

alla definizione delle potenzialità enzimatiche dei diversi gruppi di biodeteriogeni.

Le ricerche sul degrado biologico di questi materiali sono quindi molto diversificate in base alla natura del materiale sintetico considerato e al suo campo di applicazione; per un approfondimento sul tema rimandiamo alla bibliografia specifica [55,62].

Tab 2.7

LONGEVITÀ DI DIVERSE SPORE FUNGINE IN DIFFERENTI CONDIZIONI DI CONSERVAZIONE

FUNGO	LONGEVITÀ	CONDIZIONI DI CONSERVAZIONE IN LABORATORIO
<i>Mucor</i> sp.	8-10 anni	■
<i>Rhizopus nigricans</i>	22 anni	●
<i>Aspergillus oryzae</i>	> 22 anni	●
<i>Aspergillus</i> sp.	8-10 anni	●
<i>Aspergillus niger</i>	>2 anni e 8 mesi	▲
<i>Aspergillus wentii</i>	"	▲
<i>Aspergillus flavus oryzae</i>	"	▲
<i>Aspergillus fumigatus</i>	"	▲
<i>Aspergillus fischeri</i>	"	▲
<i>Aspergillus vesicolor</i>	"	▲
<i>Rhizopus</i> sp.	"	▲
<i>Penicillium</i> sp.	"	▲
<i>Alternaria</i> sp.	"	▲
<i>Chaetomium</i> sp.	2 anni e 8 mesi	▲
<i>Trichoderma</i> sp.	"	▲
<i>Aspergillus niger</i>	12 anni	×
<i>Aspergillus flavus</i>	>12 anni	×
<i>Aspergillus fumigatus</i>	>15 anni	×
<i>Aspergillus fischeri</i>	>10 anni	×
<i>Aspergillus ficuum</i>	>12 anni	×
<i>Aspergillus glaucus</i>	>15 anni	×
<i>Aspergillus nidulans</i>	> 12 anni	×

LEGENDA ■ in tubi test non sigillati ● disidratati in tubi sigillati
▲ su agar a 7°C × in tubi test coperti a temperatura ambiente

Da GALLO F., PASQUARIELLO G., VALENTI P., 1998: Biblioteche ed archivi. In *Aerobiologia e beni culturali. Metodologie e tecniche di misura*. A cura di MANDRIOLI P., CANEVA G., Nardini Editore, Fiesole, pp.193-213.

vetri ecc.) e dei fattori che influenzano sulla stessa è fondamentale per valutare il ruolo che può avere l'aeromicroflora presente nelle biblioteche sulla biodegradazione dei libri. Tali fattori sono la temperatura, l'umidità relativa, la luce, gli inquinanti chimici [27], il pH, il substrato. Se le condizioni ottimali per la vita dell'agente microbico mutano verso altre meno favorevoli esso entra "in uno stato di sofferenza" sempre più accentuato fino a toccare i limiti della resistenza. La sopravvivenza è più lunga a bassi valori termici (prossimi a 0°C) e più breve a valori elevati perché presumibilmente il metabolismo è accelerato e le riserve vengono esaurite. Questo dato può probabilmente assumere un significato soprattutto per quei microrganismi che si depositano su scaffali metallici e che pertanto si sviluppano esclusivamente a spese delle loro stesse sostanze di riserva. Come precedentemente sottolineato, tuttavia è da considerare che quando la spora si trova su substrati igroscopici, quali sono i materiali librari, l'umidità minima che consente la sua germinazione è più bassa che in assenza del substrato, in quanto questi generalmente presentano una maggiore capacità di assorbire acqua rispetto alle spore.



CONSERVAZIONE PREVENTIVA DELLE OPERE

Riassumiamo brevemente le azioni fondamentali da osservare per la conservazione preventiva nei confronti degli oggetti costituiti da un solo o più materiali. Ricordiamo che la normativa oggi disponibile offre criteri e riferimenti generali, che vanno verificati prima della loro applicazione al caso specifico. I seguenti criteri generali e fondamentali vanno sempre e prioritariamente fatti rispettare:

- evitare bruschi cambiamenti di umidità relativa e temperatura negli ambienti di esposizione e di deposito
- prima di effettuare spostamenti di oggetti verso ambienti con caratteristiche differenti, verificare la disponibilità di documentazione inerente le condizioni ambientali in cui si trova l'oggetto
- programmare per tempo lo spostamento di oggetti. Il tempo minimo di osservazione del luogo di destinazione, in mancanza di dati storici, è un anno, per avere la possibilità di fare osservazioni e misure nelle diverse condizioni stagionali
- in caso negativo, predisporre il rilievo sul posto di misure ambientali da protrarre per almeno un mese e comunque cercare di reperire informazioni termoisometriche relative a siti simili presenti nello stesso contesto ambientale
- alla stessa maniera verificare la disponibilità di dati relativi all'ambiente di destinazione e in caso contrario predisporre una opportuna campagna di rilevamento microclimatico
- verificare le esigenze di conservazione dell'oggetto e la compatibilità di queste nei confronti di altri tipi di oggetti presenti nello stesso ambiente
- umidità e luce sono parametri da controllare più importanti della temperatura: umidità e luce accelerano infatti l'invecchiamento dell'oggetto
- limitare l'esposizione dell'oggetto alla luce naturale e artificiale (vedi limiti specifici)
- attenzione a non sottostimare l'illuminamento da luce naturale;

effettuare misure con il fotometro per accertare l'effettiva quantità di luce che cade sull'oggetto

- adottare opportune schermature alle finestre (tendaggi, schermi, applicazione di filtri UV ai vetri delle finestre)
- verificare la quantità e la qualità della luce artificiale che raggiunge l'oggetto (vedi capitolo 1 e capitolo 4)
- verificare la possibilità di regolazione dell'umidità relativa (UR) dell'ambiente attraverso la disponibilità di impianti e deumidificatori
- controllare la polverosità dell'ambiente con misure idonee (vedi capitolo 3), ricordando che l'aerosol atmosferico è vettore sia di sostanze chimiche aggressive, sia di microrganismi biodeteriogeni.

MATERIALI INORGANICI

(metalli, vetri, pietre, marmi, intonaci, materiali sintetici)

Questi materiali sono teoricamente più tolleranti ai valori limite di umidità relativa, di luce e di temperatura, ma la loro relativa impermeabilità all'acqua, fatta eccezione per pietre, marmi e intonaci, fa sì che facilmente si formi acqua di condensa (rugiada) sulla loro superficie mettendo in soluzione parte delle polveri depositate.

- attenzione alle polveri depositate sulle superfici degli oggetti: sono in parte solubili e possono dare luogo, in presenza di acqua, a reazioni chimiche aggressive con conseguente solubilizzazione del substrato (vedi anche capitolo 3). Rimedio: spolverature frequenti.
- l'aerosol da inquinamento urbano (particelle e gas) è particolarmente aggressivo nei confronti di questi materiali per le reazioni chimiche con il substrato che frequentemente generano prodotti cristallini in grado di crescere all'interno delle microscopiche discontinuità del materiale stesso, producendo fessurazioni, fratture e distacchi. Rimedio: controlli e spolverature frequenti.
- la colonizzazione delle superfici da parte dei microrganismi è generalmente prerogativa dei materiali organici, ma è frequente osservare colonie batteriche, algali e licheniche anche su metalli, vetri e pietre soprattutto quando sono esposti all'aperto. Rimedio: individuazione dell'agente biologico e pulitura chimica e meccanica per l'eliminazione delle croste e delle patine che si sono formate.

(segue)



MATERIALI ORGANICI

(legno, carta, tele e tavole dipinte, tessuti, cuoio e pergamene)

- Attenzione all'eccessivo essiccamento dei materiali organici che, al contrario di molti materiali inorganici come vetro, metallo e resine, utilizzano l'acqua di imbibizione come supporto strutturale al pari delle sculture di sabbia bagnata.
- nella maggior parte dei casi, la pratica suggerisce di non scendere mai sotto il 40% di UR e di non superare il 65%. Questi valori sono da considerare come valori estremi, non come valori limite di conservazione.
- le escursioni molto rapide (entro i 30 minuti) di UR vengono avvertite poco dal legno e dai libri; le stampe se non protette adeguatamente sono più sensibili.
- più pericolose sono le oscillazioni cicliche di UR nelle 24 ore che permettono al legno di mettersi in equilibrio con l'ambiente con conseguenti ritiri e rigonfiamenti che possono causare la caduta della lamella pittorica superficiale. Rimedio: intervenire sulla causa di queste oscillazioni dovute o al riscaldamento o alla climatizzazione o alla apertura di finestre.
- i restauratori lo sanno: il bloccaggio di scorrimenti, originariamente consentiti, con graffe metalliche provoca maggiori problemi e successivi danni causati dalla forza del legno sottoposto a ritiri e rigonfiamenti, come pure gli interventi sulle traversature.
- la presenza di abbondante umidità nel substrato organico, anche senza la presenza di acqua liquida sulle superfici, può innescare processi di colonizzazione biologica dapprima superficiali poi in profondità, con danni simili alla formazione dei cristalli nei materiali come malte e pietra. Rimedio: individuazione dell'agente biologico e trattamento con sostanze biocide per l'eliminazione delle croste e delle patine formate. Controlli e spolverature frequenti poiché i microrganismi colonizzatori sono sempre presenti nel pulviscolo atmosferico.



OGGETTI APPESI ALLE PARETI

- Tele dipinte, tavole dipinte, stampe, arazzi debbono essere collocati alle pareti con supporti che consentano di posizionare l'oggetto ad una distanza dalla parete di non meno di 3 cm per piccole superfici e di non meno di 5 cm per oggetti di dimensioni superiori ad alcuni metri di larghezza e altezza.
- L'uso di materiali isolanti da interporre fra oggetto e parete è inopportuno in quanto, in caso di parete umida, la presenza dell'isolante può favorire l'insorgenza di muffe sulla parete.

CONSERVAZIONE DEI MATERIALI DI SCAVO

Presso il museo può esservi necessità di ospitare materiale di scavo da pulire, stabilizzare e classificare. Generalmente si tratta di *materiale ad alto contenuto di umidità che va tenuto in quelle condizioni*. Come conservarlo in attesa di un definitivo lavoro di consolidamento?

- in mancanza di una vera e propria camera climatica si possono ricoverare i pezzi entro apposite buste di politene provviste di chiusura e insufflare nella busta azoto, gas inerte che non permette o limita i processi chimici (ossidazioni e carbonatazioni) e biologici (muffe e batteri).
- il materiale così preparato va conservato in frigorifero a temperatura sopra lo zero, in attesa di lavorazioni successive.

CAPITOLO

3



La qualità dell'aria indoor



Il problema dell'inquinamento atmosferico non è circoscritto solo agli spazi aperti dell'ambiente esterno, ma interessa anche l'interno degli edifici delle città. Possiamo infatti pensare ai centri urbani come a strutture tridimensionali, alveolari, in grado di intrappolare nelle numerosissime cavità costituite dall'interno degli edifici le polveri, i vapori e i gas prodotti dal traffico veicolare e dalle altre attività umane. I musei si trovano così immersi nell'aerosol urbano alla pari di tutte le altre strutture e della stessa popolazione che le utilizza.

Per rendersi conto della quantità di materiale sottile sospeso in atmosfera è sufficiente indossare una mascherina filtrante e muoversi in bicicletta nella città o attorno alla città e osservare dopo un paio d'ore quanto sia cambiato il colore della maschera in corrispondenza del nostro naso attraverso il quale abbiamo respirato 10 litri d'aria al minuto. Se la prova la eseguiamo nei mesi invernali, da dicembre a febbraio, quando l'atmosfera è fredda e le situazioni di inversione termica, cioè di ristagno dell'aria al suolo, sono frequenti, otterremo lo stesso risultato in un tempo ancora minore. Allo stesso modo campionamento può essere eseguito con pompa aspirante e filtro all'interno di un edificio, che non sia provvisto di impianto di climatizzazione con filtrazione dell'aria circolante, e ci stupiremo della quantità di sostanze che verranno catturate dal filtro.

3.1 POLVERI, VAPORI E GAS

Un rapporto dell'amministrazione della Provincia di Bologna (Rapporto sullo stato dell'Ambiente 2004) [25], ha fornito una stima su base annua delle emissioni atmosferiche della provincia, originate dalle tre principali fonti antropiche: il settore industriale, il settore civile e il traffico veicolare. I contaminanti presi in considerazione sono i seguenti: biossido di zolfo (SO_2), composti organici volatili (COV), monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x), polveri respirabili (PM10) e polveri totali sospese (PTS). I dati sono relativi al 2002 e sono espressi in tonnellate/anno, come viene rappresentato nella figura 3.1, nella quale possiamo osservare che il contributo principale agli inquinanti urbani è dovuto al traffico veicolare, fatta eccezione per il biossido di zolfo, non riportato in figura, che viene emesso principalmente dalle attività industriali.

Come possiamo vedere, le quantità emesse sono notevoli e probabilmente superano i valori che ognuno di noi, non addetto ai lavori, avrebbe immaginato. Un ulteriore dato interessante e preoccupante è che il rapido incremento della presenza dei composti organici volatili (COV) è stato determinato dall'adozione della benzina verde, che ha sostituito la benzina super contenente additivi al piombo, il cui uso ha introdotto in atmosfera considerevoli quantità, non previste, di benzene. Il problema degli inquinanti atmosferici sta assumendo notevole importanza non solo per la salute dei cittadini, ma anche per gli effetti su molti materiali esposti all'aria ed in particolare per i possibili danni ai beni culturali conservati all'interno dei musei e degli archivi, dal momento in cui è stato riscontrato che il tasso di inquinamento presente negli ambienti interni supera spesso quello atmosferico come rivela un'indagine eseguita a Bruxelles nel 2003. I test hanno mostrato che le concentrazioni, in questo caso di benzene, nelle abitazioni erano il dop-

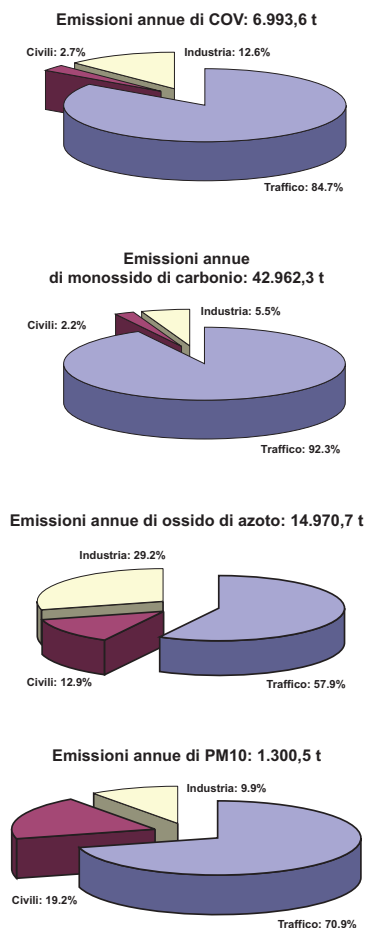


Fig 3.1
Emissioni atmosferiche della provincia di Bologna (2002), espresse in tonnellate/anno, relative a COV, CO, NO_x e PM10, prodotte da traffico, industria e attività civili.

pio di quelle dell'aria della città, con valori medi di 6,4 microgrammi per metro cubo (Progetto Europeo PEOPLE). La conferma dei risultati dell'indagine di Bruxelles viene da numerosi recenti lavori e convegni [2,10,15] che riportano valori indoor di concentrazione di inquinanti, superiori dal 50 al 100% ai valori di concentrazione esterna. Queste misure confermano semplicemente l'efficienza dei meccanismi di intrappolamento all'interno degli edifici dell'aerosol esterno entrato attraverso aperture ed infissi. La regola infatti è che l'aerosol atmosferico entra con facilità negli ambienti chiusi e ne esce con grande difficoltà generalmente perchè rimane "fissato", attraverso reazioni chimiche, alle superfici sulle quali è avvenuto il contatto trasformandosi in altre specie chimiche.

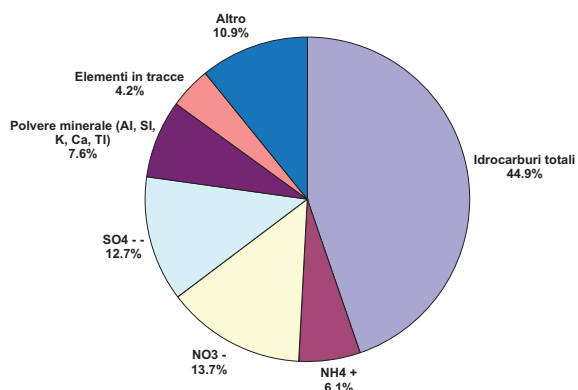


Fig 3.2

Composizione chimica percentuale del PM₁₀, aerosol di dimensioni inferiori a 10 µm (millesimi di millimetro) di un grosso centro urbano (dati ARPA Emilia-Romagna 2002) [3].

Da cosa viene generata questa quantità di aerosol in continuo aumento? Il pulviscolo atmosferico è costituito da piccolissimi frammenti di natura minerale, vegetale e animale, prodotti da processi biologici, dall'attività erosiva degli agenti atmosferici sul terreno e sui manufatti, dalle combustioni, dalle attività industriali più diverse e soprattutto dall'attività veicolare. La composizione chimica della frazione minerale che possiamo analizzare nelle polveri sottili di una grande città, chiamate PM₁₀, è costituita da idrocarburi, nitrati, solfati, sali di ammonio, polveri minerali come silicati, altre sostanze ed elementi in tracce. Una

parte di queste polveri è solubile in acqua e questa caratteristica è la causa dell'innescio di reazioni chimiche sulle superfici sulle quali si sono depositate, con conseguente sviluppo di processi di trasformazione e corrosione. Un'altra parte di questo aerosol è oleosa e ha la caratteristica di aderire alle superfici formando pellicole molto resistenti all'acqua e in grado di fungere da base per la deposizione di altre particelle solide per formare patine antiestetiche e molto resistenti nel tempo. Purtroppo questi processi non avvengono solo negli spazi aperti, ma anche negli ambienti chiusi nei quali le particelle giungono trasportate dai movimenti dell'aria e favorite dalle loro piccole dimensioni. Attraverso questi meccanismi ritroviamo queste polveri anche nelle nostre abitazioni e nelle sale dei musei.

Al pari delle particelle, e con maggior facilità di queste, sono presenti nell'aria inquinata numerosi gas e vapori che hanno maggior capacità di diffusione e rimangono più a lungo sospesi in atmosfera. Essi vengono distinti in inquinanti primari e secondari. I principali inquinanti primari sono: monossido di carbonio (CO), monossido di azoto (NO), idrocarburi (HC), biossido di zolfo (SO₂), particolati. Gli inquinanti secondari (biossido di azoto NO₂ e ozono O₃) sono invece frutto di reazioni tra i primari, o tra i primari e i componenti naturali dell'atmosfera.

La maggior parte di queste sostanze gassose le ritroviamo all'interno dei musei, come viene riportato nella tabella 3.1 nella quale si fa riferimento ad alcuni tipi di danno che gas e polveri possono causare alle superfici interessate dalla deposizione [6,7,9,22,23,38].

Tab 3.1 - (tabella rieditata da Baer et al. [38])

TIPI DI DANNO CHE SUBISCONO ALCUNI TIPI DI MATERIALE A CONTATTO CON ALCUNE FRA LE PIÙ DIFFUSE SOSTANZE INQUINANTI



MATERIALE	DANNO	PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI
Metalli	Corrosione, ossidazione	Anidride solforosa, solfuro di idrogeno, solfuro di carbonile, acido formico, acido acetico, formaldeide
Pitture e rivestimenti organici	Scolorimento, insudiciamento	Anidride solforosa, solfuro di idrogeno
Carta	Infragilimento, scolorimento	Anidride solforosa
Materiali fotografici	Micromacchie, solforazione	Anidride solforosa, solfuro di idrogeno
Tessuti	Ridotta robustezza, insudiciamento	Anidride solforosa, ossidi di azoto
Tessuti colorati	Scolorimento, cambiamento di colore	Ozono, ossidi di azoto
Cuoio	Indebolimento, polverizzazione superficiale	Anidride solforosa
Gomma	Perdita di elasticità, rottura	Ozono

Molte indagini debbono essere ancora sviluppate, ma da un primo approccio al problema ci rendiamo conto che le sostanze gassose più aggressive sono quelle citate e cioè: ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x) e ozono (O₃) seguite dai composti ammoniacali (NH₃).

L'intensità dell'attacco chimico sulle superfici interessate dalla presenza di sostanze inquinanti è proporzionale ai valori di temperatura e umidità relativa. In altre parole, la stessa quantità di

inquinante reagirà sull'oggetto o sul manufatto tanto più velocemente quanto più alta sarà la temperatura e la reazione potrà avvenire "su letto umido" come si dice quando vi è presenza di acqua liquida.

Detto ciò occorre fare attenzione alle condizioni di presenza di forte umidità, o di acqua di condensazione, quando ci troviamo in un'atmosfera "sporca e calda" come può verificarsi ad esempio in pianura padana. Queste sono le condizioni migliori per un rapido degrado dei materiali, non solo per l'azione delle sostanze inquinanti, ma in generale per tutte le reazioni chimiche e biochimiche che possono avvenire sui diversi tipi di substrato.

A questo punto dobbiamo proporre, su basi sperimentali, i valori di concentrazione atmosferica oltre i quali certamente prenderanno avvio attacchi chimici ai materiali presenti nell'ambiente. Nella tabella 3.2 sono riportate le concentrazioni limite di alcuni gas inquinanti presenti nell'ambiente museale e negli archivi. Come possiamo notare, i valori limite per l'archivio sono 10 volte maggiori di quelli fissati per il museo e ciò è dovuto al fatto che il proponente la norma ha ritenuto, da prove effettuate, che il materiale cartaceo, a parità di condizioni, debba resistere in modo migliore e quindi più a lungo di altri materiali verosimilmente presenti in un museo. Sottolineiamo "resista" poiché non siamo in condizione di produrre risultati certi solo attraverso simulazioni di effetti sul lungo tempo.

Questi valori sono derivati da tre fonti: NISO (National Information Standards Organization, ente americano) [23], Peter Brimblecombe, autore inglese noto per fondamentali lavori scientifici nel settore [6] e UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione [35]. Nella tabella non sono riportati valori limite di concentrazione per il biossido di carbonio perché non indicati nella letteratura specializzata. Di fatto, esistono raccomandazioni sui valori limite

Tab 3.2 - I valori sono espressi in ppb (parti per bilione/miliardo in volume) e in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgrammi per metro cubo di aria). La concentrazione di altri gas viene espressa in ppm (parti per milione in volume) e in mg/m^3 (milligrammi per metrocubo)

VALORI LIMITE RACCOMANDATI DI CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI AERODISPERSI



INQUINANTE	ARCHIVI (NISO-TR01/95)	MUSEO (BRIMBLECOMBE[6])	UNI 10586/97
Biossido di zolfo	5-10 ppb (vol)	<0.4 ppb (vol)	<10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di azoto	5-10 ppb (vol)	<2.5 ppb (vol)	<2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (NOx)
Ozono	5-10 ppb (vol)	1 ppb (vol)	<2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10 (polveri)		20 - 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

di anidride carbonica (biossido di carbonio o CO₂) relativi a concentrazioni da non superare, ad esempio l'esposizione continua è consentita per valori inferiori a 500 ppm e negli uffici non possono essere superati i 800 ppm [36] (limiti fissati dall'OSHA, l'agenzia statunitense per la sicurezza sui luoghi di lavoro), ma non sono disponibili al momento test di comparazione fra concentrazione di CO₂ e gravità del danno provocato a materiali.

I valori riportati in tabella vanno intesi come valori limiti da non superare. Anche nel caso di monitoraggi in continuo i valori istantanei devono essere tutti al di sotto di tali limiti.

Come si è già detto anche per le polveri, è opportuno mettere in essere tutti quei presidi e interventi di tipo passivo e di gestione, atti ad abbattere la concentrazione degli inquinanti aerodispersi.

In caso di progettazione di un impianto per il condizionamento del museo, questo deve sempre prevedere un sistema di filtrazione degli inquinanti aerodispersi gassosi e particellati, sia dell'aria esterna immessa all'interno, sia dell'aria interna riciclata, per diminuire la concentrazione degli inquinanti indoor [21].

Sintesi

INQUINAMENTO ATMOSFERICO OUTDOOR E INDOOR

L'inquinamento atmosferico è una delle principali cause di danno alla salute umana e ai materiali esposti sia all'aperto che all'interno di edifici.

Per quanto riguarda la conservazione dei beni culturali presenti in musei, biblioteche e archivi, distinguiamo inquinanti provenienti da sorgenti esterne e inquinanti generati da sorgenti interne.

Dall'esterno giungono: ossidi di azoto, ossidi di zolfo, idrogeno solforato e solfuro di carbonile (COS), ozono. Dall'interno possono essere generati: ossidi di azoto da stufe a gas, idrogeno solforato e anidride carbonica dalle persone, ozono da fotocopiatrici e stampanti. Altre sostanze possono essere prodotte dagli allestimenti, mobilio, preparazione di oggetti. Esse sono: acido acetico, acido formico, formaldeide. Altri inquinanti sono molto importanti per la salute umana ma non altrettanto importanti per la conservazione dei materiali come ad esempio i composti organici volatili (COV).

I sistemi di filtrazione dell'aria ambiente sono efficaci e producono aria pulita nelle sale e nei depositi, ma non possono eliminare i vapori di acido acetico che si trovano all'interno di vetrine e cassette.

Nel corso degli ultimi anni lo sviluppo delle conoscenze scientifiche sulla qualità dell'aria negli ambienti confinati (abitazioni, uffici, scuole ecc.), ha evidenziato che la cosiddetta Indoor Air Quality (IAQ) rappresenta una delle principali problematiche ambientali in particolare nei paesi industrializzati. Alcune considerazioni ci aiutano a comprendere questa crescente presa di coscienza. La maggior parte del nostro tempo viene trascorso in luoghi chiusi, quali la propria casa, il luogo di lavoro, le scuole, negozi, palestre, cinema, ecc. In media circa l'80-90% del tempo è trascorso al chiuso e la percentuale sale per alcune categorie di persone tra le quali i bambini, gli anziani, i malati. Se si ragiona in termini di esposizione ad un agente inquinante, ossia del prodotto della concentrazione per il tempo cui si è sottoposti a quel inquinante

$$\text{Esposizione} = \text{Concentrazione inquinante} \times \text{Tempo}$$

ci si rende conto che questa avviene per la maggior parte proprio negli ambienti confinati. Perfino l'esposizione ad inquinanti tipicamente prodotti all'esterno (ad esempio, emissioni gassose) può avvenire nei luoghi chiusi, sempre per effetto del maggior tempo ivi trascorso.

Il progresso tecnologico-industriale ha fatto sì che il numero e la quantità delle sostanze immesse negli ambienti confinati crescesse, modificando, in particolare negli ultimi decenni, la qualità dell'aria interna e aprendo una problematica "esposizione-effetto"

Approfondimento



ASSORBIMENTO DEGLI INQUINANTI INDOOR

Lo studio della presenza di sostanze inquinanti negli ambienti chiusi presenta aspetti di notevole complessità e pertanto questo argomento è ancora aperto a indagini di ricerca, infatti, alcuni lavori mettono in evidenza l'importanza del fenomeno dell'assorbimento dei gas da parte delle strutture e dei materiali situati all'interno del museo [34]. Questa diminuzione di concentrazione indoor di inquinanti, se viene rilevata senza il corredo di altre misure che documentano gli scambi di aria,

di calore e di umidità che avvengono nei locali, potrebbe essere interpretata come il risultato di buone procedure per interrompere o ridurre gli scambi d'aria esterno-interno. Queste misure, eseguite in maniera continuativa, parallelamente alle misure di inquinanti, permettono di verificare con sicurezza l'intrusione di masse d'aria inquinata ed il successivo depauperamento di inquinanti dovuto all'assorbimento da parte dei materiali e alle reazioni secondarie [22].

Questa situazione, che avviene frequentemente, produce il paradossale effetto di essere valutata positivamente dal punto di vista della salute umana (minore inquinamento indoor rispetto all'ambiente esterno) e negativamente dal punto di vista del conservatore che sa che le sostanze inquinanti "mancanti" sono state sottratte dall'atmosfera perché hanno reagito sui materiali provocando danni.

ancora da chiarire completamente. Basti pensare alla vicenda dell'amianto, la cui tossicità è emersa solo a posteriori, all'impiego di formaldeide nell'industria del mobile per le abitazioni o al crescente uso di attrezzature per l'ufficio (fotocopiatrici, computer, fax, stampanti). Lo stesso tipo di problematica ci viene posta ora per quanto riguarda la presenza di aerosol inquinante all'interno dei musei [18,27]. Questo problema è stato posto in evidenza attraverso la ricerca scientifica solo da una decina di anni e la sua soluzione è legata al raggiungimento della capacità di stima degli effetti della esposizione degli oggetti e dei materiali agli agenti inquinanti, come viene dimostrato dalle raccomandazioni di tenore propositivo del D.L. 112/98. Esposizione, dose ed effetti non sono parametri indipendenti, ma rappresentano fasi successive e complesse di un *continuum*.

Su questo argomento è importante confrontarsi con le raccomandazioni che vengono applicate da istituzioni di altri paesi, come il CCI (Canadian Conservation Institute) nelle *Guidelines for Pollutant Concentrations in Museums* [30].

Determinare un accettabile andamento del deterioramento dovuto agli inquinanti è responsabilità del curatore di museo. Il problema infatti non è aderire strettamente a norme ma utilizzare un set di linee guida per scegliere un accettabile livello di conservazione basato su obiettivi e risorse dell'istituzione, che può considerare costi e benefici di una strategia di controllo parallelamente ad altre priorità. Una lista di limiti accettabili di concentrazione di inquinanti per alcuni materiali è disponibile nel volume *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* di Jean Treault [29]. Sebbene sia possibile determinare la concentrazione accettabile di ciascun inquinante per ciascun tipo di oggetto, questo tipo di approccio richiede molto tempo e molto denaro. Per questa ragione molti musei preferiranno adottare le concentrazioni massime di molti inquinanti dannosi per collezioni di media sensibilità. Una tabella simile a quella riportata (tab. 3.3) è pubblicata nel *2003 ASHRAE Handbook* dell'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [1]. Va notato che queste raccomandazioni non sono appropriate per materiali ipersensibili come cellulosa, acetato, alcuni coloranti, piombo, gomme naturali, argento e nastri magnetici poliuretanic.

Tab 3.3

OBIETTIVI DI RIFERIMENTO DI QUALITÀ DELL'ARIA PER MUSEI, GALLERIE E ARCHIVI

INQUINANTI	CONCENTRAZIONE MEDIA PER I VALORI SOTTO INDICATI, $\mu\text{g m}^{-3}$ (ppb)			INTERVALLO DI CONCENTRAZIONE MEDIA, $\mu\text{g m}^{-3}$	
	1 ANNO	10 ANNI	100 ANNI	ATMOSFERA PULITA	AREA URBANA
Acido acetico	1000 (400)	100	100 ^b	0.3-5	0.5-20 ^c
Idrogeno solforato	1 (0.71)	0.1	0.01	0.01-1	0.02-1
Biossido di azoto	10 (5.2)	1	0.1	0.2-20	3-200
Ozono	10 (5.0)	1	0.1	2-200	20-300
Biossido di zolfo	10 (3.8)	1	0.1	0.1-30	6-100
Particelle fini (PM _{2,5})	10	1	0.1	1-30	1-100
Vapor d'acqua	rimanere sotto 60% UR ^d				

Per poter raggiungere ragionevoli obiettivi di conservazione la tabella 3.4 indica obiettivi che sono raggiungibili in diversi luoghi e in diverse condizioni [30].

Tab 3.4

OBIETTIVI DI CONSERVAZIONE POTENZIALE PER NUMEROSE COLLEZIONI

	CONSERVAZIONE POTENZIALE (in anni) ^a				
	IN UNA SALA	SENZA EE ^c	CON EE	IN VETRINE CON ME ^b SENZA EE	IN VETRINE CON ME CON EE
CONTROLLO QUALITÀ ARIA NELL'EDIFICIO					
Ventilazione naturale o climatizzazione con filtri di particelle a efficienza moderata, senza filtri per gas.	1-10	≤ 1	10-100	10-100	≥ 100
Climatizzazione con filtri per particelle e gas, edificio isolato e buon controllo del flusso di visitatori.	10-100	≤ 10	10-100	≥ 100	≥ 100
Climatizzazione con filtri ad alta efficienza per particelle e gas, edificio molto isolato e accesso limitato ai visitatori.	≥ 100	≤ 10	10-100	≥ 100	≥ 100

NOTA a: Sono esclusi effetti negativi dovuti ad umidità e materiali ipersensibili. **b:** Materiali Emissivi (lastre di collodio, negative a base di nitrato o acetato di cellulosa). **c:** Essicante Efficiente (si considera che la vetrina abbia uno scambio di aria giornaliero). **d:** Con periodico cambio dei filtri.

I limiti contenuti nella tabella forniscono un'idea delle condizioni necessarie per la conservazione a breve e a lungo termine.

Approfondimento



POLVERI ATMOSFERICHE

Con il termine di polveri atmosferiche, o di materiale particolato, intendiamo una miscela di particelle solide e liquide, sospese in aria, che varia per caratteristiche dimensionali, composizione e provenienza. Parte delle particelle che costituiscono le polveri atmosferiche sono emesse come tali da diverse sorgenti naturali ed antropogeniche (dette "particelle primarie"); parte invece derivano da una serie di reazioni chimiche che avvengono nell'atmosfera (dette "particelle secondarie"). A seconda del processo di formazione, le particelle che compongono le polveri atmosferiche possono variare sia in termini dimensionali sia di composizione chimica. Diversi sono anche i meccanismi di rimozione cui le polveri vanno incontro: meccanismi che le "allontanano" dall'ambiente atmosferico facendole ricadere al suolo o verso l'ambiente idrico (fiumi, laghi, mari, ecc.). Le polveri atmosferiche sono definite con i nomi più diversi, tra i quali i più usati sono: PTS (polveri totali sospese) e PM (dall'inglese "particulate matter"). Le polveri totali sospese (PTS) sono un insieme molto eterogeneo di particelle solide e liquide che, a causa delle ridotte dimensioni, restano in sospensione nell'aria per tempi lunghi. Esistono diversi sistemi di classificazione del materiale particolato, ad esempio secondo il diametro delle particelle (misurato in micrometri o μm) e di quantificazione della presenza in aria in termini di concentrazione (espressa in mg/m^3 , ovvero microgrammi di particelle in sospensione per metro cubo di aria ambiente). Il diametro delle particelle può variare da un valore minimo di $0,005 \mu\text{m}$ fino ad un massimo di $100 \mu\text{m}$. All'interno di quest'intervallo si definiscono: - grossolane le particelle con diametro compreso tra $2,5$ e $30 \mu\text{m}$ (paragonabile a quello di un capello

umano, che è compreso tra 50 - $100 \mu\text{m}$) - fini le particelle con diametro inferiore a $2,5 \mu\text{m}$. Le polveri grossolane si originano a seguito di combustioni incontrollate e per processi meccanici di erosione e disaggregazione dei suoli. Pollini e spore fanno parte di questa classe dimensionale. Le polveri fini derivano dalle emissioni prodotte dal traffico veicolare, dalle attività industriali, dagli impianti di produzione di energia elettrica nonché a seguito di combustioni di residui agricoli. Oltre alle PTS, la legislazione italiana in materia di inquinamento atmosferico regola la presenza in aria delle polveri PM₁₀, aventi diametro inferiore a $10 \mu\text{m}$ e comprendenti un sottogruppo di polveri più sottili denominate PM_{2,5}, aventi diametro inferiore a $2,5 \mu\text{m}$. Nonostante tra PM₁₀ e PM_{2,5} vi sia una certa sovrapposizione dimensionale, le due classi sono generalmente ben distinte sia in termini di sorgenti di emissione e di processi di formazione, sia per quanto riguarda la composizione chimica ed il comportamento nell'atmosfera. Le polveri PM₁₀ sono comunque costituite per circa il 60% dalla frazione più sottile denominata PM_{2,5}. Tanto inferiore è la dimensione delle particelle, tanto maggiore è la loro capacità di penetrare nei polmoni e di produrre effetti dannosi sulla salute umana. Per questo motivo le polveri PM₁₀ e PM_{2,5} presentano un interesse sanitario sicuramente superiore rispetto alle PTS. Le polveri PM₁₀ sono denominate anche polveri inalabili, in quanto sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Le polveri PM_{2,5} sono invece denominate polveri respirabili in quanto sono in grado di penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea sino agli alveoli polmonari).

3.2 LA MISURA DEGLI INQUINANTI

La misura della concentrazione di inquinanti atmosferici non è una misura semplice da eseguire, poiché richiede una strumentazione specifica normalmente gestita da personale tecnico specializzato. Recentemente sono stati introdotti sul mercato misuratori portatili di gas atmosferici di costo elevato ma relativamente facili da utilizzare.

La misura di inquinanti atmosferici viene generalmente eseguita in due modi:

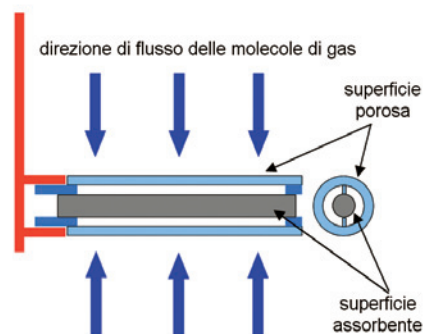
- misura diretta per mezzo di analizzatori specifici di gas
- misura indiretta attraverso l'analisi in laboratorio di un campione prelevato sul posto.

Anche l'effettuazione del prelievo di campioni richiede personale addestrato, ma vi sono metodi semplificati che possono essere eseguiti facilmente dopo un breve corso di istruzione. Le misure possono essere continue, come nel caso del monitoraggio dell'inquinamento atmosferico nelle città, o estemporanee secondo un programma prestabilito da eseguire nel luogo e nel momento più opportuni.

La necessità del museo di effettuare le misure indoor di inquinanti con una disponibilità economica spesso limitata può essere

risolta con l'adozione di campionatori passivi che offrono il vantaggio di essere poco costosi e facilmente gestibili anche da personale non esperto. Alla base del funzionamento dei campionatori passivi (fig. 3.3) vi è il principio della diffusione passiva di un gas in un mezzo adsorbente che può essere cellulosa o carbone [4,14].

Fig 3.3
Sezione verticale del radiello, campionatore passivo di gas.



Uno di questi campionatori è il *radiello*, ideato e brevettato dal Centro di Ricerche Ambientali della Fondazione Salvatore Maugeri IRCCS, Padova. È un campionatore passivo che al con-

trario degli analizzatori automatici, non utilizza una pompa. Una sostanza gassosa dispersa in aria in una data concentrazione diffonde nello spazio e un adsorbente contenuto nel campionatore passivo ne capta una certa massa (fig. 3.4). La concentrazione in aria si ottiene misurando il tempo d'esposizione e la massa di sostanza captata.

Nel caso venga utilizzato nel museo, la sola operazione da fare è la sistemazione dei radielli nelle sale secondo un protocollo prestabilito e, al termine del periodo di campionamento, il recupero delle cartucce adsorbenti che verranno spedite al servizio di analisi.

Il radiello ha lo svantaggio di non fornire dati in tempo reale ma solo le concentrazioni medie relative al periodo di campionamento. Esso è adatto per costituire un archivio di dati sulla presenza di inquinanti gassosi, dati indispensabili per determinare strategie per la riduzione o l'eliminazione di queste sostanze deterioranti, nei confronti degli oggetti custoditi, e dannose alla salute del personale del museo e dei visitatori.

Il radiello deve essere esposto per un determinato periodo nell'ambiente da analizzare, questo permette l'adsorbimento dei COV sulla superficie di carbone attivo della cartuccia; nel caso di campionamento personale l'esposizione sarà minore di quella esterna o interna ad edifici.

Questo metodo permette di analizzare la presenza in atmosfera delle seguenti sostanze gassose: Acido cloridrico, Acido fluoridrico, Acido solfidrico, Aldeidi, Ammoniaca, Biossido di azoto, Biossido di zolfo, Ozono, Composti Organici Volatili [19], alcuni dei quali sono fra gli aeriformi dei quali viene raccomandato il monitoraggio nel D.M. 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei. (Art. 150 comma 6, D.lgs. n.112/1998)"

La misura con questa metodica di inquinanti indoor nei musei è già stata effettuata con successo anche per campagne di sensibilizzazione delle amministrazioni e del pubblico verso la protezione del patrimonio culturale ("Salvailmuseo", monitoraggio sull'inquinamento atmosferico nelle aree museali italiane, Legambiente in collaborazione con 5 musei nazionali, 2006).

Un'altra metodologia disponibile per l'effettuazione delle misure di inquinamento indoor, relativamente alla corrosione di oggetti metallici, è l'uso dei "corrosion classification coupons" costituiti da piccole piastre metalliche di rame e argento da esporre nei locali da monitorare (fig. 3.5)

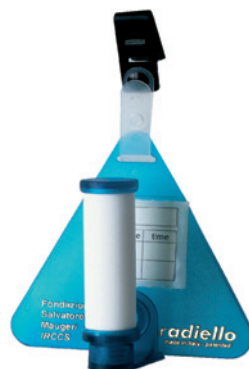


Fig 3.4
Campionatore passivo di gas denominato "radiello", le cui dimensioni sono 10x12 cm circa.

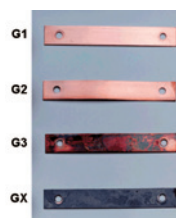
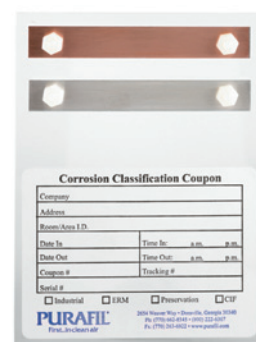


Fig 3.5
Indicatore di processi di rischio ambientale di corrosione nei metalli chiamato CCC (corrosion classification coupons) distribuito dalla Purafil Inc. Sotto, una serie di provini dopo l'esposizione in atmosfera inquinata.

L'esame del livello di corrosione deve essere effettuato da un laboratorio specializzato ed è eseguito secondo standard di classificazione della qualità dell'aria. Negli Stati Uniti ci si riferisce allo standard ISA [18] che fissa 4 livelli di corrosione: debole, moderato, forte, molto forte (fig. 3.5). Questi coupons per il monitoraggio del rischio di corrosione per gli oggetti metallici sono reperibili anche in Italia e sono già stati impiegati per questo scopo in alcuni musei. Esiste anche una versione elettronica avanzata di questo test basato sulla misura diretta della perdita di materiale metallico per corrosione. La soluzione è sensibilmente più costosa ed è costituita da un apparecchio, ONGUARD, brevettato dalla *Purafil* e già installato in alcuni musei che permette il monitoraggio in tempo reale.

3.3 IL TRATTAMENTO DELL'ARIA

Il miglioramento dell'aria degli ambienti museali, come abbiamo visto, si effettua mettendo in atto procedure che sono:

- la rimozione delle fonti di inquinamento o il controllo delle loro emissioni (quando le sorgenti sono interne)
- la ventilazione
- la depurazione.

Alla depurazione si ricorre quando non riusciamo a controllare le emissioni o non possiamo adottare la ventilazione per rimuovere gli inquinanti. La ventilazione può essere quella naturale, che utilizza la regolazione delle aperture (porte e finestre), per effettuare eccezionali e controllati ricambi d'aria. Viceversa, la ventilazione forzata è in generale associata alla distribuzione di aria a temperatura e umidità controllata attraverso la presenza di un impianto di climatizzazione.

Le operazioni di trattamento dell'aria sono relativamente complesse e consistono in:

- miscelazione tra aria di ricircolo e aria esterna
- filtrazione della miscela d'aria ottenuta
- pre riscaldamento dell'aria
- umidificazione dell'aria
- raffreddamento e deumidificazione dell'aria
- post riscaldamento dell'aria
- movimento dell'aria

che sono caratteristiche di un impianto di climatizzazione.

Normalmente l'impianto di climatizzazione possiede una o più "batterie" di filtri che assicurano l'abbattimento delle polveri pre-

senti negli ambienti del museo. In queste batterie possono essere montati filtri con particolari caratteristiche tali da poter assorbire sostanze chimiche indesiderate quali le sostanze inquinanti.

In caso di assenza di impianto di climatizzazione, sono possibili soluzioni, generalmente adottate per risolvere problemi di qualità dell'aria, limitate ad ambienti adibiti a funzioni specifiche come un deposito, un laboratorio di restauro, un archivio di ridotte dimensioni. Questi sistemi di depurazione dell'aria sono chiamati "unità di abbattimento" e sono spesso impianti pre-montati. In queste unità vengono utilizzati filtri speciali monouso a seconda delle sostanze chimiche da intercettare. Nelle figure 3.6 sono presentati alcuni componenti di queste unità.



Fig 3.6 Unità di abbattimento di polveri e sostanze inquinanti: **a)** Unità a package per aria di ricircolo, da installare direttamente negli ambienti confinati da proteggere; **b)** Unità integrabile con impianti di condizionamento per purificazione aria primaria e di ricircolo.

Sintesi

MONITORARE L'INQUINAMENTO

- Per poter valutare il rischio di danno ai beni culturali arrecato dagli inquinanti aerodispersi, occorre avere dati di misure effettuate. I dati di inquinamento esterno generalmente sono disponibili, spesso gratuitamente, presso le amministrazioni comunali e provinciali. I dati di inquinamento interno debbono essere invece generati attraverso misure eseguite ad hoc.
- Il monitoraggio di inquinanti interni sta diventando sempre più importante non solo per i musei ubicati nei centri urbani. Il monitoraggio richiede un programma orientato e la collaborazione di esperti.
- Il monitoraggio interno degli inquinanti può essere eseguito attraverso campionamento attivo e campionamento passivo. Il primo richiede una strumentazione costosa che utilizza pompe per prelevare i campioni che dovranno essere analizzati; il secondo non ha pompa ma piccoli tubi con sostanze che assorbono gli inquinanti e che verranno analizzati in un secondo tempo. Questo metodo è più economico e può essere chiesto come servizio a società specializzate.
- Le sostanze inquinanti possono essere rimosse dagli ambienti attraverso azioni che vanno dal controllo delle immissioni dell'aria esterna all'utilizzo di sistemi di filtrazione dell'aria interna.



b)

In mancanza di impianto di circolazione dell'aria e in presenza di riscaldamento con termoconvettori è in ogni caso utile provvedere al ricambio frequente dei filtri che sono presenti in ogni unità di riscaldamento. Per il periodo invernale, quando le situazioni di accumulo di inquinanti in atmosfera sono frequenti, è importante provvedere al cambio dei filtri a inizio stagione per avere una maggiore efficienza della filtrazione.

Infine, per agire sulla sorgente primaria rappresentata dagli scambi d'aria provenienti dall'esterno, va considerata la progettazione e costruzione di bussole e doppie porte che impediscono l'ingresso diretto dell'aria esterna, oltre a far osservare il rispetto del protocollo di gestione dell'apertura delle finestre. Questi requisiti sono semplici e non richiedono grossi sforzi economici, ma sono molto importanti ai fini del mantenimento delle buone condizioni di qualità dell'aria nel museo.

Approfondimento



LA RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO NEL MUSEO

Frequentemente i livelli di inquinamento misurati in ambienti a ventilazione naturale risultano essere bassi quanto quelli che si trovano in ambienti con aria condizionata con filtri a carboni attivi. La deposizione delle sostanze inquinanti sulle superfici interne riduce infatti la concentrazione di inquinamento interno fino al 90%. I nuovi materiali per la filtrazione, quale il tessuto impregnato di carbone, possono fungere da pulitori passivi di inquinamento, riducendo le concentrazioni interne di inquinamento in ambienti con o senza climatizzazione. Negli edifici con aria condizionata e filtri di carbone, l'impianto deve essere efficiente ed i filtri debbono essere sostituiti con materiali di alta qualità a intervalli stabiliti. Gli impianti ad aria condizionata funzionano spesso con ventilazione mag-

giore di quella degli edifici naturalmente arieggiati e quindi se non sono dotati di filtrazione a filtri di carbone, si presenteranno concentrazioni interne di inquinamento più alte che negli edifici ventilati naturalmente. Il costo annuale in termini di energia, relativo all'uso dei filtri a carbone è pari a 1% del costo del funzionamento a pieno regime dell'aria condizionata. Chiaramente, dove è necessario controllare soltanto alcune aree del museo, è più conveniente installare unità locali piuttosto che un sistema centrale.

Il metodo principale di lotta contro l'inquinamento negli edifici con filtrazione centralizzata a filtri di carbone, non è l'unico metodo possibile di riduzione dell'inquinamento in molti musei, anche se è percepito spesso come tale [5].

Nella prassi corrente i tecnici di assi-

stenza degli impianti non considerano che la deposizione interna di inquinanti possa ridurre significativamente la necessità di lotta attiva contro l'inquinamento. Il consumo di energia misurato nei musei ad aria condizionata è approssimativamente due volte quello dei musei con ventilazione naturale. Si valuta che circa il 25% dell'energia consumata dai ventilatori dell'aria condizionata in un impianto sia dovuto alla perdita di pressione causata dalle unità filtranti. L'uso dei filtri a carbone negli impianti di trattamento aria di grandi o piccole dimensioni non ha costi aggiuntivi di energia o di manutenzione ma i soli costi relativi ai filtri a carbone. Il sistema è meno adatto per le gallerie con alta affluenza di visitatori, che richiedono un alto regime di ventilazione per comfort umano.

3.4 COMFORT UMANO E CONSERVAZIONE

Il museo non contiene solo oggetti ma anche persone che sono presenti con ruoli diversi: lo staff del museo e i visitatori. Ognuna di queste persone ha esigenze ambientali differenti sulla base delle attività che compie e del proprio stato fisiologico.

Se il calore prodotto dal nostro organismo è maggiore di quello che riusciamo a smaltire verso l'ambiente circostante avvertiamo una sensazione di caldo; al contrario se il nostro corpo perde più calore di quanto ne produce internamente, si avverte una sensazione di freddo. Nel caso in cui il calore prodotto è uguale a quello scambiato, la sensazione è neutra e la situazione viene definita di comfort o benessere termoigrometrico.

Le variabili ambientali che influiscono sulla definizione del comfort sono:

- la temperatura, dell'aria e delle pareti, che determina la quantità di calore scambiato fra l'individuo e l'ambiente nelle tre forme principali di scambio termico, ovvero l'irraggiamento, la conduzione e la convezione;
- l'umidità, che incide sull' "indice di calore" nel caso in cui sia troppo alta e sulla sensazione di "secchezza alla gola" quando è troppo bassa;
- la presenza di eventuali stratificazioni termiche, che inducono fastidi legati al problema di avere parti del corpo a differenti temperature;
- la velocità dell'aria, che può produrre spiacevoli situazioni qualora essa sia troppo alta (maggiore di 0.25 m/s).

Inoltre è bene definire che:

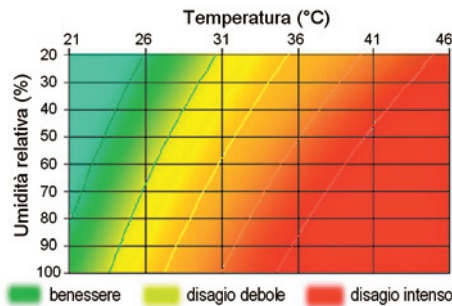
- il benessere è individuale e non collettivo: corrisponde per definizione al soddisfacimento psicofisico di un singolo individuo;
- il benessere è globale e non singolare: nella realtà i vari fattori interferiscono fra loro e le percezioni sensoriali si sovrappongono.

Capovolgendo la frase di apertura, potremmo ora affermare che il museo non contiene solo persone che cercano negli ambienti, che sono di lavoro o di svago, la migliore condizione di vivibilità o di benessere o comfort climatico, ma anche oggetti e materiali che debbono essere conservati rispettando parametri ambientali alcuni dei quali sono gli stessi che condizionano anche il nostro benessere, come la temperatura, l'umidità relativa, la ventilazione. L'argomento delle condizioni climatiche più confortevoli per l'or-

ganismo umano è stato trattato da molti studiosi ed è tuttora motivo di grande interesse soprattutto in discipline come la medicina del lavoro e la medicina sportiva.

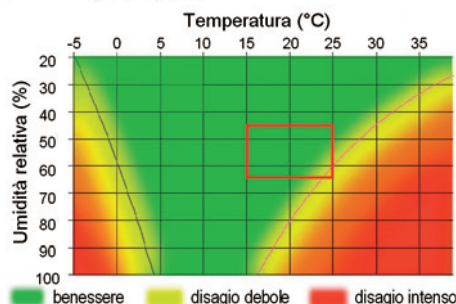
Il nomogramma, e cioè la funzione di due variabili rappresentata sotto forma di grafico, più utilizzato per determinare le condizioni di comfort corporeo è quello chiamato indice di Thom [31] che viene presentato soprattutto durante i mesi caldi per avvertire la popolazione di possibili disagi o pericolo di condizioni termoigrometriche avverse (alta temperatura e alta umidità) e che viene qui sotto riportato (fig. 3.7).

Fig 3.7 *Indice di Thom detto anche indice di benessere; utilizza la temperatura dell'aria e l'umidità relativa. In questa versione l'intervallo di temperatura considerata è ridotta a 21 – 46 °C.*



Una seconda rappresentazione meno utilizzata ma più efficace per i nostri scopi è quella di Scharlau [28], nella quale il campo più esteso di temperature ci permette di dimostrare che le condizioni termoigrometriche raccomandate per la corretta conservazione della maggior parte dei materiali e degli oggetti presenti nelle collezioni museali, eccetto materiali fotografici e reperti di scavo, rientrano con facilità nell'area verde di benessere termoigrometrico dell'individuo più prossima all'intervallo 15 – 25 °C di temperatura e 45 – 65 % di umidità relativa (fig. 3.8).

Fig 3.8 *Indice di Scharlau che rappresenta l'indice di benessere corporeo estivo e invernale; il rettangolo rosso rappresenta le condizioni di T e UR valide per la maggioranza degli oggetti da conservare.*



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 purchè 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.

CAPITOLO

4



Monitoraggio dell'ambiente



È difficile, nell'ambiente museale, attuare buone pratiche di conservazione dei vari tipi di oggetti e materiali presenti, se non abbiamo la conoscenza di base dei processi di natura fisica, chimica e biologica che ne regolano il deterioramento e l'invecchiamento. Le misure, che periodicamente vengono eseguite, servono a ben poco se non siamo in grado di utilizzarle. Certamente la disponibilità di un archivio ben documentato di dati ambientali relativi alle condizioni interne del museo costituisce uno strumento prezioso con il quale è possibile rispondere a molte delle domande che dovrebbero essere poste da chi si accinge a progettare un impianto di climatizzazione, a chi sta prendendo in carico un'opera per il restauro o, più semplicemente, alla vostra domanda: quali sono le condizioni ambientali nelle quali le opere e i manufatti contenuti nelle sale e nei depositi del museo vivono realmente?

4.1 STRUMENTI E MISURE

Qualunque oggetto o manufatto risente dell'effetto dell'ambiente circostante in termini di sollecitazioni prodotte da fattori fisici quali la temperatura, l'irraggiamento luminoso, l'umidità e, più in generale, è influenzato dal microclima risultato della sinergia tra questi fattori [5,7,18,22].

L'azione del microclima negli ambienti indoor è continuativa e gli effetti generalmente si manifestano sul lungo periodo, causati dal susseguirsi delle fasi caratteristiche del sistema (l'atmosfera esterna, l'edificio, le sale, gli oggetti), come l'alternanza del giorno e della notte e delle stagioni o la modificazione artificiale della temperatura, della umidità e della luce negli ambienti. Questa continua variazione del valore dei parametri ambientali produce effetti a breve e a lungo termine sugli oggetti e sui materiali, effetti che determinano il loro stato di conservazione.

Per conoscere le relazioni, spesso complesse, fra le cause e gli effetti che portano al degrado dei materiali, dobbiamo individuare i parametri che sono coinvolti nel sistema.

Negli ambienti interni, che sempre più frequentemente chiamiamo con il termine inglese *indoor*, e in modo particolare negli ambienti museali e negli archivi, i principali parametri che caratterizzano il microclima e che dobbiamo misurare, sono:

- l'umidità
- la temperatura
- la radiazione luminosa

A questi tre fondamentali parametri possiamo aggiungerne altri ai quali abbiamo già accennato nei capitoli precedenti:

- la velocità dell'aria
- la concentrazione di alcuni gas
- la concentrazione delle polveri
- la concentrazione dell'aerosol biologico

Altre misure dirette e indirette possono essere eseguite per raccogliere informazioni su processi in atto o alla ricerca di cause che stanno producendo effetti indesiderati, ma nel nostro caso ci atterremo alle misure essenziali che possiamo eseguire noi stessi o che richiederemo a esperti, siano essi appartenenti a istituzioni o a imprese private.

Gli studi inerenti la conservazione dei materiali si basano su conoscenze scientifiche, empiriche o teoriche, che richiedono, come tutte le attività umane, applicazione ed esperienza. Esistono corsi e studi specifici che negli ultimi anni, attraverso l'offerta di numerosi master, hanno cercato e stanno cercando di formare figure

professionali per questo settore. Allo stesso tempo è importante che anche il responsabile del museo sia in possesso di questa conoscenza scientifica di base per rendersi conto dell'importanza e della complessità dell'attività per la conservazione e possa partecipare con cognizione di causa ai momenti decisionali per la scelta di procedure da adottare o di operatori professionali da interpellare per risolvere gli aspetti pratici del problema.

Le norme e le raccomandazioni fino ad ora pubblicate, sia in sede nazionale che internazionale, permettono un approccio alla conservazione preventiva semplificato ma corretto. Purtroppo assistiamo ancora oggi ad atteggiamenti di disinteresse e sottovalutazione dell'importanza del problema, sia dal punto di vista etico che dal punto di vista pratico, e ciò in un momento di particolare interesse ad esempio verso lo scambio di opere d'arte destinate a esposizioni temporanee che richiamano grande partecipazione di pubblico ma che sottopongono le opere stesse a condizioni di stress ambientale e grave rischio per la loro conservazione nel futuro.

4.1.1 Misura dei parametri fisici, chimici e biologici

La misura di un parametro fisico comporta l'utilizzo di uno strumento atto a fornire il valore della grandezza in esame. In generale, la scelta dello strumento costituisce un importante problema in quanto condiziona la precisione della misura. La scelta della strumentazione determina infatti in larga parte l'accuratezza della descrizione del fenomeno che vogliamo osservare [7,11,12,14,17].

4.1.1.1 Umidità e Temperatura

Iniziamo con l'umidità in quanto la riteniamo il parametro più importante ai fini della conservazione di oggetti e manufatti. Senza la presenza d'acqua nei suoi diversi stati di aggregazione molti processi distruttivi non potrebbero aver luogo. La misura di umidità relativa può essere eseguita con strumenti aventi differenti caratteristiche e adibiti a differenti scopi.

La misura della **umidità** può essere eseguita con l'impiego di numerosi tipi di igrometro basati su diversi principi di funzionamento, tra cui:

- differenza di temperatura di bulbo asciutto e bulbo bagnato
- allungamento di un fascio di capelli o fibre sintetiche
- sensore capacitivo igroscopico.

Lo *psicrometro meccanico* è uno strumento che fornisce per via indiretta accurate misure della umidità relativa (UR%). Esso viene utilizzato principalmente per tarare o controllare altri tipi di igrometro. La misura è basata sulla lettura di temperatura di due termometri detti rispettivamente a bulbo asciutto e a bulbo bagnato ed alla consultazione di un'apposita tabella di conversione temperatura/umidità relativa; nella fig. 4.1 è riportato il classico *psicrometro Assman*. Il termometro a bulbo asciutto misura la temperatura dell'aria, mentre quello a bulbo bagnato, rivestito di tessuto costantemente bagnato, misura una temperatura inferiore alla precedente, dovuta alla sottrazione di calore per evaporazione dell'acqua contenuta nel tessuto. L'abbassamento di temperatura sarà tanto maggiore quanto più bassa è l'umidità dell'ambiente, poiché l'evaporazione è inversamente proporzionale all'umidità relativa. Il termometro a bulbo bagnato è ventilato a 2-4 m/s, da un piccolo aspiratore a molla. Se effettuata correttamente, questa misura è molto precisa ($\pm 2\%$).

Esistono in commercio *psicrometri digitali*, ma occorre fare attenzione poiché vi sono modelli che simulano la temperatura di bulbo bagnato, ma non sono provvisti né di sensore bagnato né di aspirazione (fig. 4.2). Gli psicrometri elettronici affidabili differiscono dallo psicrometro Assman solo per i termometri che sono termistori anziché essere a mercurio (fig. 4.3).

Le misure richiedono qualche minuto per la preparazione dello strumento e vanno ovviamente annotate a mano.



Fig. 4.1 *Psicrometro Assman.*



Fig. 4.2 Questo strumento viene venduto come psicrometro ma avendo un solo termometro

asciutto, il valore dell'inesistente termometro bagnato è simulato.

Lo *psicrometro elettronico* non viene utilizzato per misure continue a causa della necessità di rifornire il termometro bagnato di acqua. In questo tipo di strumento, generalmente collegato ad un datalogger (centralina), vengono resi disponibili i dati di temperatura asciutta (temperatura dell'aria), temperatura bagnata, umidità relativa calcolata e temperatura di rugiada calcolata. Tutte le misure sono disponibili in formato elettronico.



Fig. 4.3 *Psicrometro elettronico da collegare a datalogger. Notare la presenza del serbatoio d'acqua (bianco) e l'aspiratore (rosso).*



Fig. 4.4 *Igrometro a capello Lambrecht affidabile e ancora in commercio.*



Fig. 4.5 Igrometro elettronico tascabile.



Fig. 4.6 Igrometro con sonda esterna.

Nella pratica comune viene ancora largamente utilizzato l'*igrometro a capello*, basato sulla proprietà che possiedono i capelli di variare di lunghezza al variare dell'umidità (fig. 4.4). L'allungamento del capello è approssimativamente logaritmico come è possibile notare sulla scala di questi strumenti ossia, in corrispondenza di valori bassi di umidità relativa gli allungamenti sono molto maggiori (maggiore sensibilità nella misura), mentre sono ridotti nei valori più alti della scala. L'igrometro a capello va tarato periodicamente con una semplice procedura facilmente eseguibile.

Oltre a modelli analogici dove occorre leggere la posizione di un indice su una scala graduata, esistono modelli meccanici indicati come *igrografi* e *termoigrografi*, che tracciano una curva ad inchiostro su carta diagrammata con autonomia giornaliera o settimanale. In questi modelli la precisione è dell'ordine del $\pm 5\%$ ed i sensori sono il capello e la coppia bimetallica. Le misure in esterno debbono essere fatte riparando lo strumento in un'apposita protezione detta "capannina". Le misure sono rappresentate da un grafico che, nel caso di elaborazione al computer, va convertito manualmente in tabella numerica. Normalmente viene fatto un archivio di "cartine settimanali". Occorre ricordarsi di effettuare la taratura dello strumento ogni 2 anni.

L'*igrometro* o *termoigrometro elettronico* è ideale per applicazioni di uso comune in quanto i dati di tipo elettronico sono più facilmente trattabili e registrabili. Ciò nonostante non raggiunge la precisione dello psicometro meccanico ed è più indicato per rilevazioni continue. Questo apparecchio è composto da un sensore di temperatura (termistore o termoresistenza), un sensore di umidità (film capacitivo) e un'elettronica con display per vedere il risultato della misura.

Gli apparecchi possono essere tascabili con i sensori interni (fig. 4.5) o portatili con sonda di misura esterna (fig. 4.6).

Gli *igrometri tascabili* non vanno utilizzati tenendoli in mano, ma debbono essere posati su un piano in attesa che l'apparecchio si stabilizzi prima di leggerne il valore. Generalmente hanno una precisione bassa ($T\ 1^{\circ}\text{C}$ e $UR\ 5\%$) e un prezzo basso. Alcuni modelli consentono il trasferimento dei dati al PC.

Gli igrometri portatili sono più costosi e più affidabili (precisione $T\ 0.1^{\circ}\text{C}$ e $UR\ 2\%$) e consentono la memorizzazione dei dati e il trasferimento su PC. L'affidabilità della misura dipende dalla qualità dei sensori. L'offerta commerciale è notevole e non è semplice fare buone scelte se non si ha esperienza; i venditori sanno che difficilmente il cliente ha la possibilità di effettuare controlli e tarature.

Come per il fascio di capelli del termoigrometro classico, anche i sensori degli igrometri elettronici debbono essere fatti controllare ogni 2 anni, poiché hanno un naturale decadimento che accelera negli ambienti molto polverosi e molto umidi. Generalmente il sensore fuori taratura rileva valori che sono costantemente inferiori al valore corretto.

Quando vi è necessità di rilevare per lungo tempo temperatura e umidità senza dover controllare i dati via via raccolti, possiamo utilizzare il *mini-datalogger* della figura 4.7 di ridottissime dimensioni, alimentato con pile stilo e funzionante come una piccola scatola nera. La sua autonomia, se l'acquisizione dei dati non è troppo frequente, è di alcuni mesi, trascorsi i quali possiamo collegarlo al PC per il trasferimento e l'elaborazione delle misure.

La misura della **temperatura** può essere eseguita con l'impiego di numerosi tipi di termometro basati su diversi principi di funzionamento, tra cui:

- termometri a liquido
- termometri a deformazione di metalli
- termometri a resistenza elettrica (Pt100)
- termometri a termocoppia
- termometria infrarossa

Ogni tipo di termometro è caratterizzato dalla *precisione* (intervallo in cui sono contenuti gli errori casuali), dalla *prontezza* (rapidità a raggiungere l'equilibrio termico) e dalla *sensibilità* (minima grandezza responsabile della deviazione apprezzabile dello strumento), oltre che dal modo di restituzione delle misure effettuate (lettura diretta *analogica* o *digitale*, registrazione su carta o su memoria magnetica). Queste caratteristiche sono comuni ad altri tipi di misura.

Il *termometro a mercurio*, tra i termometri a liquido, è il più diffuso e il più utilizzato come termometro di riferimento nella taratura degli altri tipi di termometro. La sua precisione varia a seconda delle caratteristiche costruttive, da 0.5 a 0.05 °C.

I *termometri ad alcool*, colorato per comodità di lettura, sono meno precisi e con un campo di misura meno esteso. Per coloro che dovessero usare questi due tipi di termometro, va rammentata la necessità di sistemare lo strumento lontano dall'influenza dell'operatore durante la misura e di eseguire il più rapidamente possibile la lettura.

Il *termometro bimetallico* è il termometro a deformazione più conosciuto e più utilizzato ed è costituito da due metalli (acciaio e acciaio al nichel) aventi differenti coefficienti di dilatazione termica, saldati l'un l'altro su tutta la loro lunghezza, a formare una lamina



Fig 4.7 Termoigrometro mini-datalogger con 2 sensori T e UR interni; memorizza 32.000 dati.



Fig 4.8 Termoigrografo registratore su carta. E' uno strumento meccanico con igrometro a capelli (UR) e termometro bimetallico. Due penne tracciano gli andamenti su un diagramma settimanale.

ricurva. Le deformazioni di questa lamina per effetto della temperatura sono registrate meccanicamente su carta da una penna scrivente. Generalmente alla misura di temperatura viene accoppiata, in un unico strumento detto termoigrografo, quella di umidità relativa. La precisione è migliore di $\pm 1^\circ\text{C}$ e l'autonomia di registrazione su carta è di 24 ore o di 7 giorni (fig. 4.8).

I *termometri elettronici* utilizzano sensori interni o sonde esterne il cui elemento sensibile è costituito da una resistenza di filo di platino, detta *Pt100*, la quale modifica il valore di resistenza al variare della temperatura. La precisione degli strumenti di questo tipo, basati sul sensore Pt100, è di $\pm 0.1^\circ\text{C}$. La resistenza di platino viene sostituita negli strumenti meno costosi con un componente elettronico chiamato *termistore* anch'esso sensibile alle variazioni di temperatura.

Un sensore di temperatura meno frequentemente utilizzato è la *termocoppia*. Le termocoppie (TC) sono costituite dall'unione di due materiali (rame-costantana, cromo-costantana) che generano una tensione ai capi della giunzione (saldatura). La precisione è all'incirca di $\pm 0.2^\circ\text{C}$. La misura della temperatura di superfici viene eseguita prevalentemente con termoresistenze e termocoppie, anche se queste misure sono affette da errori sistematici costituiti dalla difficoltà di stabilire una buona conduzione termica fra sensore e superficie da misurare.

Il principale problema in queste misure è però di tipo metodologico: infatti una misura di temperatura rilevata in un punto non può essere considerata a priori valida per tutta l'estensione della superficie. Recentemente, un potente aiuto è stato offerto dalla *termometria infrarossa* che può essere applicata anche in parallelo alle misure puntuali. Questa tecnica prevede l'uso di una termocamera che permette di ottenere una immagine termica molto dettagliata della superficie, nella quale è possibile evidenziare anche i gradienti di temperatura (figg. 4.9, 4.10). La precisione raggiungibile è dell'ordine di 0.1°C . Il costo di una termocamera è nettamente superiore a quello di qualsiasi altro sistema.



Fig 4.9
Termocamera IR.

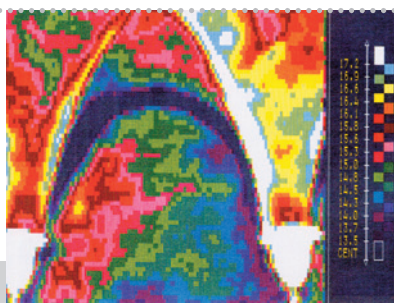


Fig 4.10
Immagine termografica: ad ogni colore è assegnata una temperatura.

Misure puntuali di temperatura della superficie possono essere eseguite con termometri a infrarosso (IR), facili da usare e con la possibilità di connessione immediata a PC o ad acquisitore di dati (datalogger) (fig. 4.11). La misura di temperatura è puntuale e viene eseguita senza toccare la superficie da misurare. L'utilizzo combinato di misure con termocamere IR e termoresistenze superficiali rappresenta sicuramente la migliore offerta in termini di costi e benefici per la misura della temperatura di ampie superfici.

Come per gli igrometri, esistono *termometri digitali tascabili*, spesso combinati con la misura di umidità. Questo tipo di termometro è molto diffuso e poco costoso ma poco adatto per impieghi professionali soprattutto nelle versioni con sensore di temperatura interno (fig. 4.12).

Per misure di monitoraggio continuo su tempi lunghi senza la necessità di controllare i dati, sono validi i piccoli datalogger con sensori combinati T e UR (fig. 4.13).

Misure di temperatura di maggiore precisione possono essere fatte con sonde a Pt100 o a termistori collegate a datalogger (centraline) programmabili. Normalmente questi datalogger di ridotte dimensioni e portatili possono essere collegati a un certo numero di sensori per misure molto diverse fra loro (fig. 4.14).



Fig 4.11 Termometro a infrarosso.



Fig 4.12 Termometro digitale tascabile.



Fig 4.13 Piccolo datalogger con sensori combinati T e UR.



Fig 4.14 Datalogger "BABUC" con sonde T e UR esterne.

4.1.1.2 Flusso d'aria

All'interno degli edifici il flusso d'aria è caratterizzato da velocità molto bassa, dell'ordine di qualche centimetro al secondo: ciò impedisce di fatto l'utilizzo dei normali anemometri a coppe e dei sensori di direzione a bandiera.

Una misura sufficientemente precisa di questi spostamenti d'aria è ottenuta mediante l'utilizzo dell'anemometro a filo caldo (0 - 10 metri al secondo) provvisto di un sensore di velocità del flusso



Fig 4.15 Anemometro a filo caldo portatile.



Fig 4.16 Sonda a filo caldo da collegare a datalogger.

costituito da un filo di platino riscaldato che si raffredda proporzionalmente alla velocità dell'aria. Il basso peso e ingombro rende l'anemometro a filo caldo uno strumento estremamente adatto a misure in ambienti confinati nei quali la velocità dell'aria è sempre molto bassa. Anche per questa misura esistono strumenti di piccole dimensioni e autonomi (fig. 4.15) e sonde da collegare a datalogger (fig. 4.16).

4.1.1.3 Radiazione luminosa

Le misure di radiazione luminosa negli ambienti interni hanno grande importanza ai fini della conservazione delle opere, in quanto è difficile valutare senza strumenti l'effettivo impatto della radiazione sull'oggetto. Chi esegue le misure sa che il posizionamento del sensore è un punto critico che deve essere valutato attentamente per ottenere misure attendibili. Le misure che vengono eseguite sono:

- illuminamento (lux)
- radianza (W/m^2 , $\mu\text{W/cm}^2$)
- luminanza (cd/m^2).

Anche in questo caso esistono strumenti portatili per misure estemporanee o spot, e strumenti per misure continue.

Uno strumento molto pratico è il foto-radiometro che permette di effettuare le tre misure (illuminamento, radianza e luminanza) su angoli diversi a seconda del tipo di sonda collegata (fig. 4.17).

Molto più semplice e meno costoso è l'esposimetro fotografico che permette la misura del solo illuminamento (lux) (fig. 4.18)

La quantità di radiazione ultravioletta può essere misurata con un fotometro particolare che vede la banda di lunghezza d'onda di 290 - 390 nanometri, invisibile all'occhio umano ed estremamente energetica sugli oggetti e in particolar modo sui pigmenti (fig. 4.19).

Fig 4.17 Foto-radiometro con differenti sonde.



Fig 4.18 Esposimetro fotografico per la misura d'illuminamento.



Fig 4.19 Fotometro per la misura della radiazione ultravioletta.



Questi strumenti vengono utilizzati per misure estemporanee, non presentano particolari difficoltà d'uso ma vanno gestiti da personale preventivamente addestrato.

Per misure continue si usano sensori collegati a datalogger che gestiscono le stesse misure in automatico.

4.1.1.4 Gas e particelle

Come abbiamo già detto, la caratterizzazione dell'ambiente museale richiede altri parametri oltre quelli prettamente microclimatici come la misura dei gas e della polverosità [5,16]. Quasi tutte queste misure debbono essere eseguite con operatore, ma riteniamo che in un prossimo futuro possano essere gestite da centraline automatiche.

Classifichiamo al momento queste misure come misure speciali da eseguire su programmi specifici. Generalmente queste apparecchiature hanno costi elevati dovuti all'elevata sensibilità richiesta (microgrammi per metro cubo d'aria) a causa delle basse concentrazioni, mentre invece per concentrazioni maggiori riscontrabili in ambienti industriali sono disponibili strumenti a basso costo. Le misure pertanto vanno richieste a ditte specializzate.

A scopo informativo riportiamo i gas che possono essere rilevati con strumentazione portatile: ossidi di zolfo, ossidi di azoto e ozono.

È inoltre importante sapere che possono essere eseguite misure estemporanee e in continuo di anidride carbonica (fig. 4.20). Questa misura potrebbe essere necessaria per ragioni di sicurezza del personale e dei visitatori, in occasione di mostre temporanee con previsione di sovraffollamento; la misura in questo caso viene effettuata in continuo attraverso uno speciale sensore collegato a una centralina che gestisce le misure.

Per concludere, segnaliamo la misura delle polveri sospese che rappresentano un problema emergente dovuto alla aumentata presenza di visitatori nei musei, in particolar modo in occasione di mostre temporanee, ed all'apporto dell'inquinamento atmosferico urbano. La misura viene eseguita con uno strumento in grado di contare il numero e valutare le dimensioni delle particelle di polvere presenti nell'ambiente. I valori, espressi come numero di particelle per metro cubo d'aria, vengono letti su un display o trasferiti ad un computer o a una centralina di acquisizione dati (fig. 4.21). Anche in questo caso è consigliabile rivolgersi ad una ditta specializzata.



Fig 4.20 Sonda ed elettronica per la misura continua dell'anidride carbonica negli ambienti interni.



Fig 4.21 Misuratore portatile di concentrazione di polveri fini.



Fig 4.22 SAS, campionatore di particelle biologiche su terreno di coltura.



Fig 4.23 Crescita di colonie fungine sulla piastra con terreno di coltura utilizzata nel campionatore SAS.

4.1.1.5 Aerosol biologico

Una importante misura, che dovrebbe essere eseguita periodicamente nelle sale e nei depositi dei musei, è la misura della carica fungina e batterica presente in aria. Questa misura non può essere eseguita in automatico ma viene gestita in due fasi distinte: il campionamento e l'analisi dei campioni in laboratorio microbiologico. Il controllo periodico della presenza di aerosol biologico permette di attuare procedure di prevenzione di rischio di attacchi fungini sui materiali sensibili soprattutto di natura organica. In atmosfera sono sempre presenti spore fungine e batteri che sono in grado di colonizzare un'ampia varietà di materiali nel momento in cui si creano le condizioni favorevoli di disponibilità di acqua.

Il campionamento viene eseguito con uno speciale aspiratore (fig. 4.22) che deposita la polvere prelevata dall'ambiente su piastre con terreno di coltura (fig. 4.23) che vengono poi portate in incubatore per la crescita dei microrganismi che saranno conteggiati e identificati al microscopio [8,15,19]. Data la complessità della misura, è consigliabile farla eseguire da un laboratorio specializzato.

4.2 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

4.2.1 Centraline di acquisizione dati

Come abbiamo visto quasi tutte le misure possono essere eseguite con tempi e luoghi da definire o in modo continuo con frequenze che possono essere di ore o di minuti [4]. Questo ultimo tipo di monitoraggio viene eseguito con apparecchiature che gestiscono automaticamente tutte le misure previste. Queste apparecchiature sono chiamate sistemi o reti di monitoraggio (fig. 4.24) e sono formate da numerosi sensori di vario tipo, installati nei diversi ambienti del museo, collegati a un datalogger, detto comunemente centralina, che ne gestisce i tempi di misura e l'archiviazione dei dati. La centralina ha inoltre altre funzioni come la trasmissione dei dati ad un computer locale o a un centro di elaborazione remoto.

La disponibilità e l'affidabilità di sensori collegati senza filo (via radio) al datalogger sta determinando la sostituzione dei sistemi con collegamento via cavo per evidenti vantaggi.

I sensori cordless (senza cavo) sono costituiti da una elettronica dedicata al tipo di sensore (temperatura, umidità, radiazione luminosa, ecc.) e da un modulo di comunicazione radio con la centralina per la trasmissione dei dati. Il sensore cordless si presenta come una piccola scatola provvista di elemento sensibile e antenna esterna (fig. 4.25). Il sensore cordless è alimentato a batteria con durata di 2 anni circa. L'uso di reti interne di monitoraggio con strumentazione cordless o wireless, come spesso vengono indicate nei depliant delle imprese del settore, permette:

- una installazione del sistema meno onerosa poiché non è necessaria la posa di cavi
- una scelta più ampia della collocazione dei sensori
- la possibilità di riposizionamento dei sensori in caso di modifica all'allestimento degli ambienti
- l'ampliamento rapido della rete senza vincoli pregressi e modifiche hardware della centralina di acquisizione.

La scelta di sensori, o tipo di misure, è sufficientemente ampia per ottemperare alle attuali raccomandazioni sulla gestione della conservazione delle opere d'arte nei musei e per esigenze specifiche come il trasferimento di materiali fra ambienti aventi marcate differenze microclimatiche.

Anche in questo caso il mercato offre una notevole scelta di tipi di strumentazione che però presentano al momento caratteristiche ben differenziate in quanto raramente troviamo prodotti con eguali o simili caratteristiche. La disponibilità di apparecchiature pone quindi nuovamente il problema della scelta che non è semplicemente ristretto al costo. In questo caso, ancora più che nell'acquisto di misuratori singoli, è importante effettuare una attenta valutazione chiedendo aiuto ad esperti e assumendo informazioni su installazioni già funzionanti presso altri musei.

Indipendentemente dal tipo di collegamento fra sensori e centralina, il personale del museo ha la possibilità di consultare le misure in corso o le misure archiviate in differenti modi:

- lettura diretta dei dati sulla centralina
- lettura dei dati correnti e di archivio su un computer collegato alla centralina
- lettura dei dati correnti e di archivio su un sito internet dedicato.

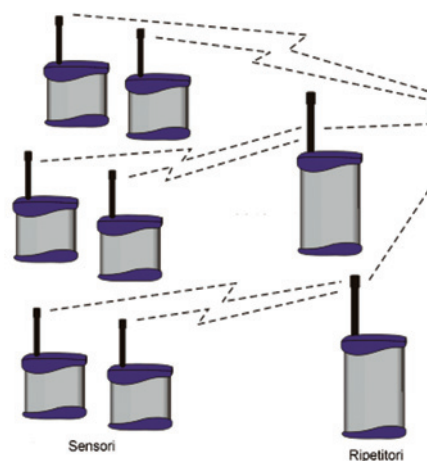


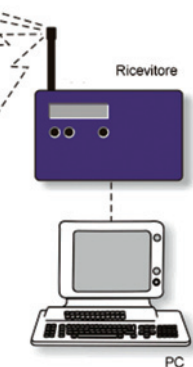
Fig 4.24

Tipico schema di rete di monitoraggio con comunicazione radio fra sensori cordless, ripetitore e ricevitore-datalogger collegato a PC.



Fig 4.25

Sensore cordless di temperatura e umidità relativa.



La prima possibilità è sempre disponibile mentre la seconda e la terza possono essere scelte entrambe o in alternativa.

La scelta dipende principalmente dalla disponibilità locale di personale in grado di svolgere la funzione di gestore della rete di monitoraggio e dalle esigenze di accesso ai dati e alle informazioni riguardanti lo stato di conservazione delle opere conservate. Sia i collegamenti centralina-computer locale, che i collegamenti centralina-centro di acquisizione remoto, possono essere effettuati via cavo o via radio a seconda della disponibilità, in prossimità della centralina, rispettivamente di un PC e di una normale presa telefonica. La gestione della comunicazione fra le apparecchiature può essere gestita da un modem che è collegato o alla linea telefonica o trasmette via radio (cellulare GSM) o da una interfaccia internet. Queste soluzioni hanno semplificato notevolmente le procedure di impianto e gestione.

La possibilità di consultazione via internet di dati e rapporti quasi in tempo reale toglie i vincoli dell'ubicazione del punto di accesso e riduce drasticamente i costi di esercizio della rete: il collegamento internet è praticamente accessibile ovunque. Maggiori dettagli sulla gestione locale della rete e sulla elaborazione dei dati verranno trattati nei prossimi paragrafi.

4.2.2 Rilievi microclimatici per studio preliminare

Il microclima degli ambienti confinati è determinato principalmente, come abbiamo già accennato, da alcuni fattori quali le caratteristiche architettoniche e l'orientamento degli edifici, i materiali e le tecniche costruttive, il clima dell'ambiente esterno; inoltre il microclima degli spazi interni viene facilmente modificato dalla presenza umana (visitatori, personale di servizio, ecc.) dai sistemi di riscaldamento e di climatizzazione.

La conoscenza delle caratteristiche microclimatiche degli ambienti interni permette di individuare meccanismi favorevoli all'insorgenza e allo sviluppo di processi di degrado dei materiali, attraverso la verifica dell'esistenza di condizioni che possono essere:

- formazione di condensa e processi di evaporazione del vapore acqueo sulle superfici;
- trasporto di sali dall'interno alla superficie dei materiali;
- deposizione delle particelle aerodiffuse;
- alterazione delle proprietà fisiche e chimiche dei materiali;
- alterazione per esposizione alla luce solare.

La caratterizzazione microclimatica degli ambienti si basa quindi principalmente sul rilevamento dei seguenti parametri:

- temperatura dell'aria e delle superfici;
- umidità relativa dell'aria;
- velocità e direzione dell'aria;
- radiazione luminosa naturale e artificiale ricevuta dalle superfici;
- deposizione di particolato;
- presenza di gas inquinanti.

La programmazione delle misure da eseguire, dove farle e quando farle, dipenderà dal tipo di obiettivo che vi sarete posti e, principalmente, se intendete intraprendere un monitoraggio continuo o se avete necessità di approntare una o più campagne di misura per risolvere problemi specifici. In entrambi i casi dovrete prevedere sopralluoghi *ad hoc* da effettuare con la collaborazione di personale esperto, del museo o esterno.

Alcuni criteri e suggerimenti su come procedere in merito alle misure preventive e come eseguirle sono contenuti nella norma UNI 10829, che riassume le esperienze riportate da lavori scientifici, alla sezione 5 "*Procedimento per la Misurazione delle Grandezze Ambientali*" nella quale vengono indicate le procedure per eseguire le misure strumentali di temperatura, umidità relativa e illuminamento, nonché della componente ultravioletta della radiazione luminosa.

Con la premessa che una norma è soggetta a modifiche e aggiornamenti, riteniamo debbano essere fatte alcune osservazioni alla norma UNI 10829. Le procedure raccomandate possono essere attuate non solo da esperti termotecnici ma da operatori del settore ambientale o più semplicemente operatori in possesso di una cultura tecnico-scientifica di base sufficiente per comprendere e gestire le misure. Probabilmente sarebbe stato più conveniente utilizzare il simbolo di temperatura T adottato dal sistema internazionale (SI) anziché il simbolo θ , la lettera greca teta e il simbolo UR per l'umidità relativa, utilizzato diffusamente in questo tipo di misure, anziché il simbolo u . Infine l'accuratezza richiesta nella misura di temperatura, $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, non è sufficiente per mettere in evidenza certi meccanismi che generano condizioni di rischio di danno, come il monitoraggio della temperatura di una superficie ai fini di verifica di condizioni di formazione di condensa: qualche decimo di grado è sufficiente perché si possa verificare o meno un fenomeno. Sugeriamo di osservare una accuratezza di almeno $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, accuratezza disponibile in molti termometri elettronici

di buona qualità. Le copie delle norme UNI si acquistano anche via internet sul sito UNI www.uni.com/it.

Le misure preliminari alla realizzazione di una rete indoor di monitoraggio dovrebbero essere eseguite almeno nelle differenti condizioni stagionali.

Al momento del piazzamento di un sensore, e sulla base delle misure preventivamente effettuate, vanno ricordati alcuni criteri fondamentali:

- generalmente si cerca un punto di misura che sia significativo per un ampio spazio circostante;
- l'altezza del sensore dal pavimento è critica e deve rappresentare la posizione media della maggior parte delle opere esposte;
- nel caso di opere di grandi dimensioni vanno installati sensori a diverse altezze dal pavimento per poter valutare il gradiente di temperatura verticale;
- prendete nota della posizione e del numero di matricola dei sensori in modo da avere la mappa con la dislocazione esatta di tutti gli strumenti: vi servirà come controllo in caso di manutenzione e in occasione di lavori di riallestimento degli ambienti. Spesso architetti e impiantisti manifestano scarsa sensibilità e considerazione verso questo tipo di strumentazione;
- prestare particolare attenzione ai sensori installati su sostegni mobili: possono essere soggetti a spostamenti irresponsabili da parte di personale e maestranze;
- non posizionare sensori accanto a porte e finestre a meno che non dobbiate misurare correnti d'aria;
- non posizionare sensori in prossimità di sorgenti di calore come lampade e caloriferi e di apparecchi di deumidificazione;
- nel progetto di rete di monitoraggio prevedete sempre di installare un sensore esterno di temperatura e umidità relativa. Il sensore va installato su una parete esterna rivolta a nord in modo che non venga mai colpito direttamente dai raggi solari. Questi dati vi saranno molto utili per valutare e anticipare gli effetti delle condizioni climatiche esterne su quelle interne.

Gli stessi criteri possono essere applicati nel caso della valutazione delle condizioni microclimatiche all'interno di vetrine e teche, modificando opportunamente le procedure e valutando le possibili perturbazioni del microambiente dovute alla presenza della strumentazione.

4.2.3 Monitoraggio microclimatico di routine

Quando il monitoraggio microclimatico deve essere eseguito per lunghi periodi, vengono utilizzate apparecchiature automatiche (centraline) per la gestione delle misure e la raccolta dei dati, alle quali è collegata una rete di sensori posizionati in punti prefissati. La scelta dei sensori viene effettuata principalmente sulla base dei seguenti criteri:

- caratteristiche della misura (precisione, accuratezza, affidabilità)
- tipo di collegamento con la centralina (cavo, radio)
- dimensioni del sensore (impatto visivo)
- costo.

Riguardo alle caratteristiche della misura che un sensore può offrire, abbiamo già accennato a questo argomento nei paragrafi precedenti; ricordiamo che la strumentazione di questo tipo è sempre corredata di ampia documentazione tecnica che occorre esaminare con attenzione prima di deciderne l'acquisto. A parità di qualità dei sensori, incide sul costo dell'impianto la scelta del tipo di collegamento fra sensore e centralina. A differenza di alcuni anni fa la scelta di utilizzo di sensori senza collegamento via cavo rappresenta la scelta più pratica e più economica. Ancora a proposito di impianti fissi, non va sottovalutato il criterio di minor impatto ambientale riguardo soprattutto alle dimensioni ed alla realizzazione della installazione dei sensori che spesso, accanto ad apparecchiature come telecamere, allarmi ed altro, deturpano gli ambienti museali.

Il mercato offre oggi in questo settore un'ampia gamma di materiale nazionale ed estero a prezzi molto differenti tra loro e qualora non si abbia esperienza, la valutazione e la scelta della strumentazione si presentano estremamente difficoltose; suggeriamo pertanto di non esitare a chiedere consiglio ad un esperto per avere idee chiare prima di affrontare il venditore. Un secondo problema riguarda la verifica delle misure effettuate dai sistemi installati, verifica che è buona norma predisporre attraverso controlli periodici da effettuare con strumentazione tarata e scelta come riferimento.

Il tipo di parametri, il numero dei sensori, la frequenza di acquisizione delle misure, l'autonomia dell'archivio saranno i principali fattori che condizioneranno la scelta del tipo di centralina.

La frequenza di acquisizione delle misure (al minuto, all'ora, al giorno) ed il numero di sensori definiranno la capacità di memoria necessaria al sistema (detta memoria RAM). Il problema della dimensione della memoria diventa di fondamentale importanza quando non è possibile preventivare la periodica operazione di "scarico" o copiatura dei dati su supporti esterni alla centralina. I sistemi attuali sono generalmente concepiti o con il blocco dell'acquisizione quando la memoria è piena, il che significa la perdita dei dati successivi, o con memorie ad anello sulle quali vengono riscritti i dati più vecchi. Questo è quanto succede ad un sistema di monitoraggio mal gestito e possiamo assicurare che situazioni di questo tipo non sono infrequenti. Per evitare la perdita di dati per memoria locale superata, vi sono due soluzioni:

- scarico (download, in inglese) dei dati gestito in automatico da un programma residente su un PC collegato alla centralina
- scarico automatico dei dati gestito da un sistema remoto esterno al museo.

La differenza fra le due soluzioni consiste nel tipo di controllo dei dati scaricati per verificare che tutto funzioni regolarmente o meno. La casistica su questa attività ci mostra spesso l'impossibilità del museo a destinare una persona che giornalmente effettui questa verifica, salvo rare eccezioni che spesso però non riescono a garantire continuità nel tempo.

L'esame della situazione attuale rivela che molti responsabili e curatori di museo non colgono ancora l'importanza del monitoraggio della qualità dell'ambiente museale, ma allo stesso tempo sentono la necessità di adottare qualche strumento di misura che spesso viene dimenticato. I musei infatti, e non solo quelli italiani, sono pieni di termoigrografi, sistemati nei posti più disparati e con cartine diagrammate che hanno compiuto troppe rotazioni prima di fermarsi finalmente all'esaurimento della carica del congegno di movimento del cilindro. Lo stesso rischio corrono strumenti ben più sofisticati e costosi. La chiave di volta di questa attività è costituita dall'elaborazione dei dati e dal loro utilizzo immediato da parte del museo che in questo modo può verificarne l'utilità. Troppo spesso il rilevamento di misure ambientali rimane una operazione astratta: le misure vengono effettuate e i dati archiviati in attesa di qualche richiesta.

4.2.4 Elaborazione dei dati

Ritorniamo alla nostra centralina. Via via che i dati del monitoraggio in corso vengono resi disponibili sul computer, possiamo iniziare ad effettuare semplici elaborazioni a partire da quelle indicate dalla norma UNI 10829 che riportiamo sinteticamente:

Dose annuale di luce	LO	Mlx.h/anno
Escursione giornaliera di temperatura	ΔT	°C
Differenza di temperatura superficie-ambiente	ΔT_{sa}	°C
Escursione di temperatura su 2 h successive	ΔT_2	°C
Escursione di temperatura su 24 h	ΔT_{24}	°C
Escursione di temperatura sulla settimana	ΔT_{set}	°C
Escursione di temperatura sul mese	ΔT_{mes}	°C
Escursione di temperatura sull'anno	ΔT_{ann}	°C
Escursione giornaliera di umidità relativa	ΔUR	%
Escursione di umidità relativa su 2 h successive	ΔUR_2	%
Escursione di umidità relativa su 24 h	ΔUR_{24}	%
Escursione di umidità relativa sulla settimana	ΔUR_{set}	%
Escursione di umidità relativa sul mese	ΔUR_{mes}	%
Escursione di umidità relativa sull'anno	ΔUR_{ann}	%
Massima escursione giornaliera di temperatura	ΔT_{max}	°C
Massima escursione giornaliera di umidità relativa	ΔUR_{max}	%
Massimo valore di illuminamento	E_{max}	lx
Massima quantità di radiazione ultravioletta	UV_{max}	$\mu W/lm$
Massima dose annuale di luce	LO_{max}	Mlx.h/anno

Con il termine “escursione” indichiamo la differenza fra il valore massimo e il valore minimo riscontrati nel periodo di riferimento (giornaliero, mensile, annuale).

Questo ultimo gruppo di elaborazioni è utilizzato nella tabella dei valori di riferimento di temperatura, umidità relativa e illuminamento per la conservazione dei materiali riportata dalla stessa norma UNI.

I dati, a seconda delle caratteristiche del datalogger, possono essere files di testo o files di foglio elettronico come il notissimo Excel che permette semplici elaborazioni statistiche.

Oltre alle elaborazioni sopra elencate è importante che vengano

eseguite elaborazioni statistiche relative alla definizione dei valori massimi e minimi, dei valori medi, delle mediane, degli scarti, delle classi di frequenza dei singoli parametri. Il software di statistica è reperibile anche se occorre scegliere quello maggiormente indirizzato al campo fisico-matematico anziché quello finanziario spesso più disponibile. In alcuni casi i produttori di sistemi di acquisizione di dati microclimatici sono in grado di offrire software specifico per questo uso. I risultati possono essere rappresentati sia sotto forma numerica, sia sotto forma grafica. A seconda delle esigenze sarà necessario scegliere le opportune scale temporali (oraria, giornaliera, settimanale, mensile, annuale) per meglio esaminare l'andamento di un certo parametro.

L'analisi dei dati microclimatici non sarà limitata alla sola rappresentazione dell'andamento dei parametri misurati, ma cercherà di fornire spiegazioni sul perché dell'andamento degli stessi, verificando l'esistenza di correlazioni con l'andamento di altri parametri anche non di natura fisica come l'affluenza dei visitatori in una sala, l'attivazione del sistema di riscaldamento o le operazioni di pulizia dei locali.

Se in passato l'obiettivo del monitoraggio microclimatico degli ambienti museali era la sola parametrizzazione o descrizione numerica del microclima, ora si cerca di utilizzare questi dati per fornire informazioni dirette sullo stato di conservazione dei materiali custoditi nel museo. In altri termini, consideriamo il monitoraggio microclimatico non come un fine ma come il mezzo per offrire raccomandazioni necessarie per una corretta conservazione preventiva.

Ecco allora che le elaborazioni dei dati raccolti sono orientate principalmente alla formulazione di modelli di rischio di vari tipi di danno per vari tipi di materiale. Alcuni esempi:

- valutazione di rischio di danni strutturali (screpolature, rotture, distacco di materiale) a tavole lignee dipinte, utilizzando due parametri (temperatura e umidità relativa) (fig. 4.26)
- valutazione di crescita di colonie fungine (muffe) su intonaco, utilizzando temperatura dell'aria, temperatura di rugiada e ciclo biologico dell'agente fungino (fig. 4.27)
- valutazione di rischio di corrosione di un oggetto metallico utilizzando la concentrazione di un gas inquinante e la temperatura di rugiada.

Inoltre possono essere fornite altre elaborazioni riguardanti la quantità di radiazione luminosa visibile o ultravioletta che, a partire da un dato istante, un oggetto (dipinto, tessuto, stampa) riceverà fino alla segnalazione del superamento della dose annuale consentita.

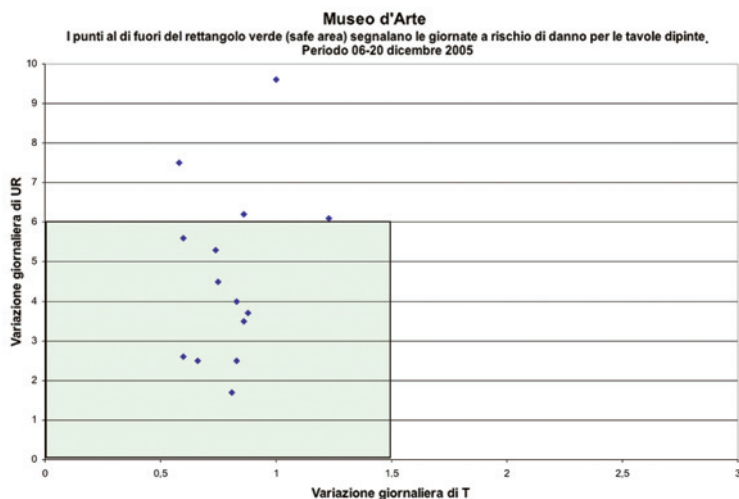


Fig 4.26 Diagramma delle condizioni di stress meccanico per tavole lignee: i punti al di fuori del rettangolo verde segnalano giornate con condizioni di rischio di danno quando la differenza di UR è superiore al 6% e la differenza di temperatura è superiore a 1.5 °C.

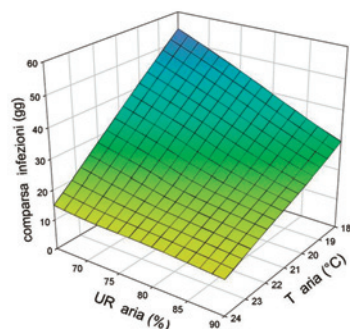


Fig 4.27 Diagramma delle condizioni di rischio di attacco fungino su superfici. L'agente biologico è il *Cladosporium*, una muffa generalmente presente ovunque che cresce con facilità quando il substrato (intonaco, legno, tela, cuoio) ha un alto tenore di umidità.

Infine, vengono fornite per ciascun oggetto le rappresentazioni grafiche dell'andamento di importanti parametri (es. temperatura e umidità relativa), accompagnate dai limiti di superamento che sono raccomandati nella tabella UNI già citata. Tutto ciò risulterà di estrema praticità poiché ci permetterà con un solo colpo d'occhio di verificare la regolarità o le anomalie delle condizioni microclimatiche alle quali sono conservati gli oggetti. Ancora una volta va sottolineato che questo sistema di monitoraggio controlla il museo 24 ore su 24.

4.2.5 Monitoraggio del museo a distanza

La gestione responsabile di una rete indoor di monitoraggio ambientale (microclimatico, inquinanti atmosferici, aerosol biologico), è senza dubbio impegnativa e onerosa.

La lunga esperienza acquisita da IBC e CNR relativamente alla sensibilizzazione dei musei nei riguardi del controllo microclima-

tico degli ambienti museali ha portato alla decisione, alcuni anni fa, di lanciare il Progetto MUSA, basato sul monitoraggio del museo da un centro di elaborazione remoto.

Lo stimolo principale che ha determinato l'avvio del progetto è stata proprio la constatazione delle notevoli difficoltà che i musei incontrano nel gestire autonomamente e in maniera continuativa il monitoraggio microclimatico finalizzato alla conservazione preventiva degli oggetti d'arte.

Per meglio chiarire la situazione, dobbiamo specificare che l'analisi è stata svolta fra musei che avevano avuto la possibilità di installare negli anni '90 strumentazione di qualità per il rilevamento in continuo di temperatura e umidità e si erano dimostrati interessati a gestire in proprio i rilevamenti oltre il termine di aiuto fornito da IBC e CNR.

Il risultato atteso non è stato raggiunto per tutti i musei; in particolare sono emerse le seguenti cause di insuccesso:

- perdita di dati per mancanza di alimentazione elettrica alla centralina causata da negligenze locali (spina staccata dalla presa di corrente)
- rinuncia al completamento del sistema di rilevamento che prevedeva il reperimento di un PC da collegare alla centralina per lo scarico automatico dei dati
- non effettuazione della periodica manutenzione ai sensori
- sostanziale non utilizzo dei dati rilevati
- assenza di persona designata alla sorveglianza della centralina
- mancanza di tempestività nell'eseguire i suggerimenti segnalati (riparazioni, procedure, ecc.).

L'obiettivo del Progetto MUSA è dunque quello di gestire da un unico centro di elaborazione remoto sia il funzionamento dell'hardware del museo (sensori e centralina) sia l'elaborazione dei dati acquisiti e la restituzione dei risultati al museo.

L'attuazione dell'assistenza ai musei attraverso il Centro è necessaria, ma non è sufficiente per raggiungere l'obiettivo di una consapevole ed efficiente conduzione della conservazione preventiva. Infatti risulta indispensabile la collaborazione attiva del museo attraverso la sua organizzazione, dalla direzione alla sorveglianza.

Il progetto MUSA offre al museo un'opportunità di soluzione avanzata della gestione della conservazione e chiede al museo di utilizzare e valutare in modo critico la qualità e la validità dei prodotti offerti.

In sintesi, MUSA chiede al museo:

- collaborazione in merito alla effettuazione di controllo attivo della strumentazione installata
- fornitura di tutti i dati e le informazioni concernenti la struttura del museo, le opere e i materiali presenti, le attività svolte presso il museo (tab. 4.1)
- utilizzo critico di tutti i documenti prodotti da MUSA.

Tab 4.1

SCHEDA DI RISCHIO DA COMPILARE A CURA DEL MUSEO. LA SCHEDA FORNISCE PREZIOSE INFORMAZIONI, PER CIASCUNA SALA MONITORATA, CIRCA LE OPERE DI MAGGIOR PREGIO STORICO-ARTISTICO, IL LORO STATO DI CONSERVAZIONE E I MATERIALI CHE LE COSTITUISCONO.



	CAMPI DI TESTO	ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE
SITO		indicare il nome del Museo
NOME DELLA SALA		indicare il nome associato alla sala
TIPOLOGIA DELLA SALA	☐ sala espositiva ☐ deposito ☐ loggia ☐ corridoio ☐ altro	riferito alla sala costituita da un unico volume, anche se di forma irregolare
SE ALTRO		specificare se trattasi di altra tipologia
DESTINAZIONE D'USO	☐ esposizione permanente ☐ deposito ☐ esposizione temporanea ☐ altro	selezionare la destinazione d'uso della sala
SE ALTRO		specificare se trattasi di altra destinazione d'uso
SENSORI PRESENTI	☐ SI ☐ NO	indicare se sono installati dei sensori di rilevamento microclimatico
NUMERO DI SENSORI		indicare il numero di sensori presenti nella sala
SUPPORTO DATI		locale su carta, locale su HD/CD, trasmissione remota, ecc.
PARAMETRI MICROCLIMATICI RILEVATI	☐ Temperatura ☐ Umidità Relativa ☐ Temperatura Superficiale ☐ Illuminamento	selezionare i parametri rilevati da ciascun sensore. Sono ammesse selezioni multiple
	☐ Radiazione Solare* ☐ Direzione del Vento* ☐ Velocità del Vento* ☐ Precipitazioni* ☐ Altro	* Rilevamenti esterni

	CAMPI DI TESTO	ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE
SE ALTRO		specificare se il sensore rileva anche altri parametri non presenti sopra
MATERIALI PRESENTI	1 2 3 4	indicare i materiali conservati nella sala
PERCENTUALE DI MATERIALE	1 % 2 % 3 % 4 %	indicare la percentuale relativa agli oggetti presenti nello stesso ambiente (es. se le pitture su tela sono gli unici oggetti presenti nella sala, la percentuale sarà 100%)
IMPORTANZA	1 2 3 4	utilizzando la scala da 0 a 10, indicare l'importanza storico-artistica degli oggetti, in relazione ai beni conservati nell'intero museo (es. 10 se tra le pitture su tela c'è una delle opere più importanti conservate nell'intero museo)
STATO DI CONSERVAZIONE	1 2 3 4	utilizzando la scala da 0 a 10, dare una valutazione complessiva per lo stesso tipo di materiale (es. 7 se le pitture su tela presenti nella sala sono complessivamente in discrete condizioni)

Per contro, MUSA offre al museo:

- controllo dell'efficienza del sistema di monitoraggio del museo
- segnalazione di tutte le anomalie di funzionamento
- segnalazione tempestiva di situazioni di rischio di danno alle opere
- raccomandazioni di comportamento per la soluzione di problemi inviati al museo sottoforma di rapporti periodici (vedi facsimile)
- accesso a tutti i dati e documenti dell'attività di monitoraggio del museo generati durante il tutoraggio MUSA.

Al termine dei 18 mesi di assistenza, il museo dovrà decidere autonomamente le modalità della conduzione futura della gestione della conservazione dei propri beni artistici e culturali.



Progetto MUSA

Report trimestrale sullo stato delle condizioni degli ambienti e dei materiali



Rep. 03/06	Museo d'Arte	03/10/06
------------	--------------	----------

Trimestre Luglio-Settembre 2006

COMUNICAZIONE IMPORTANTE
Problemi di UR alta nella sala 2 per la conservazione dei dipinti su tavola.

COMMENTO SINTETICO
Si segnala che dal controllo remoto da noi effettuato nel periodo luglio-settembre 2006 risulta, negli ambienti monitorati, un andamento termoigrometrico fuori norma . In particolare si prende in considerazione la <u>sala 2</u> , che ospita opere d'arte di grande pregio, su supporto ligneo.

STRATEGIE DA ADOTTARE – MATERIALI A RISCHIO
Si consiglia di deumidificare la sala 2 riportando l'UR entro valori nella norma (50-60%)

Oggetti monitorati	Condizioni di conservazione	Osservazioni
Pitture su tavola	Fuori limiti	UR alta nella sala 2 T alta nelle sale 1 e 3

Ambienti monitorati	Stato termoigrometrico	Osservazioni
Sala 1	Mediamente nei limiti stagionali	T > 24°C
Sala 2	Fuori limiti stagionali	UR > 60%
Sala 3	Mediamente nei limiti stagionali	T > 24°C
Sala 4	Assenza di dati	Sensore guasto

COMMENTO ESTESO
In generale, nei mesi estivi i valori di T e UR risultano costanti (grafico 1). L'UR subisce comunque maggiori oscillazioni. La sala 2 registra una UR molto elevata (65-70%) e <u>molto rischiosa per il materiale ligneo conservato</u> . Il grafico 2 dimostra deboli escursioni giorno-notte di T e UR. Questo dato ci permette di affermare che gli ambienti interni sono ben isolati dall'ambiente esterno. Si può concludere che, nonostante la T si mantenga su valori elevati (superiori ai 24°C), peraltro "normali" nel periodo estivo, i valori di UR restano tra il 45 ed il 60%, e sia T che UR presentano un andamento costante, questo indica una condizione termoigrometrica soddisfacente per il materiale ligneo, eccezion fatta per la sala 2 che, vista l'alta UR, <u>necessita di un sistema di deumidificazione</u> . Il sensore della Sala 4 non restituisce dati validi. Se ne consiglia la manutenzione.

GRAFICI ALLEGATI
Si allegano i grafici 1-2

LEGENDA SIMBOLI
Temperatura = T
Umidità Relativa = UR

NOTE

Nell'area intranet del sito web www.isac.cnr.it/musa è possibile accedere, tramite password, ai Vostri dati ed elaborazioni personalizzate.

Rapporto redatto da	XXXXXXXXXXXX	
Questo messaggio è sempre consultabile al sito riservato		www.isac.cnr.it/musa

Museo d'Arte Luglio Settembre 2006

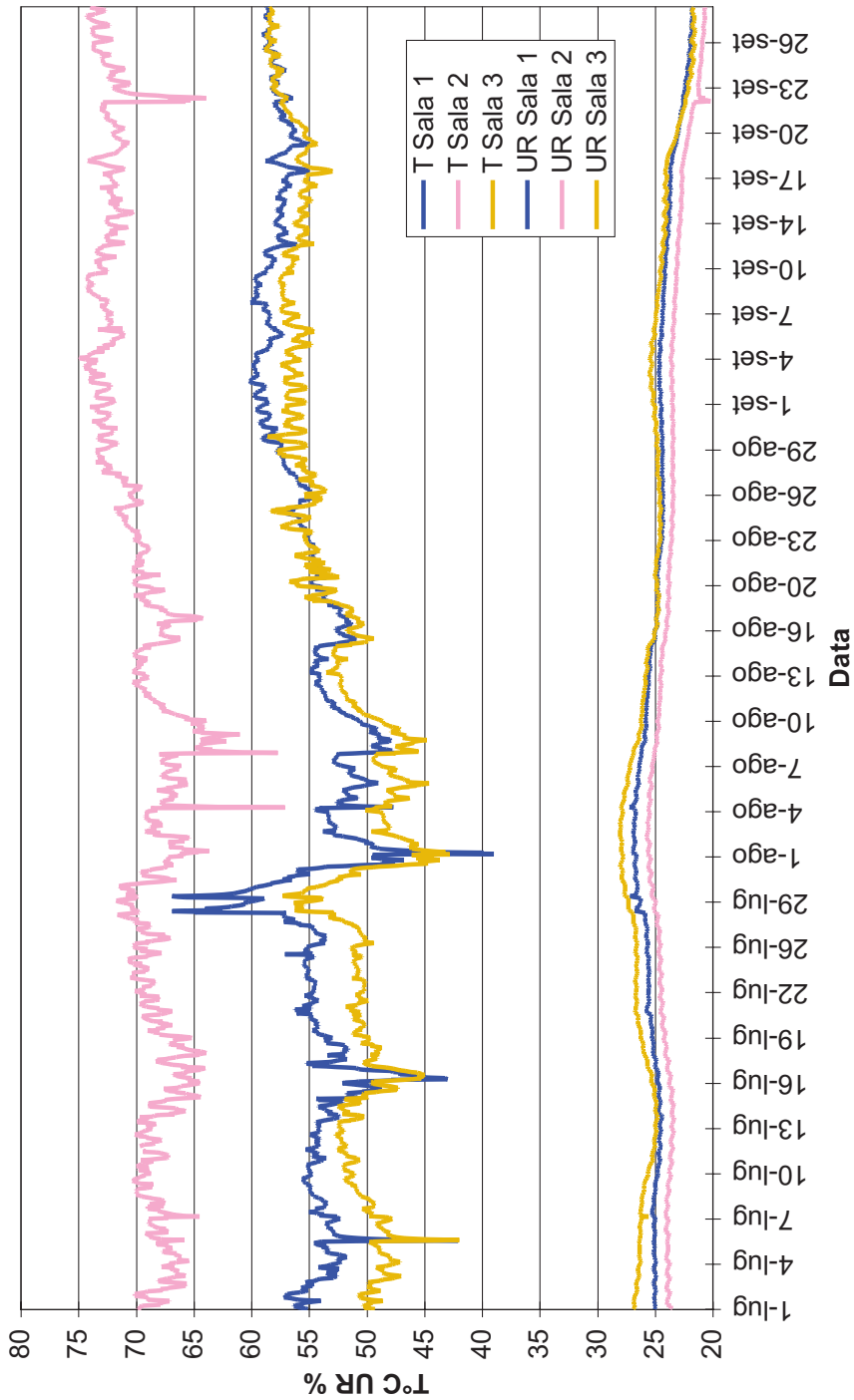


Grafico 1: Andamento termoigrometrico del trimestre nelle sale del Museo

Museo d'Arte
Sala 3
Agosto 2006

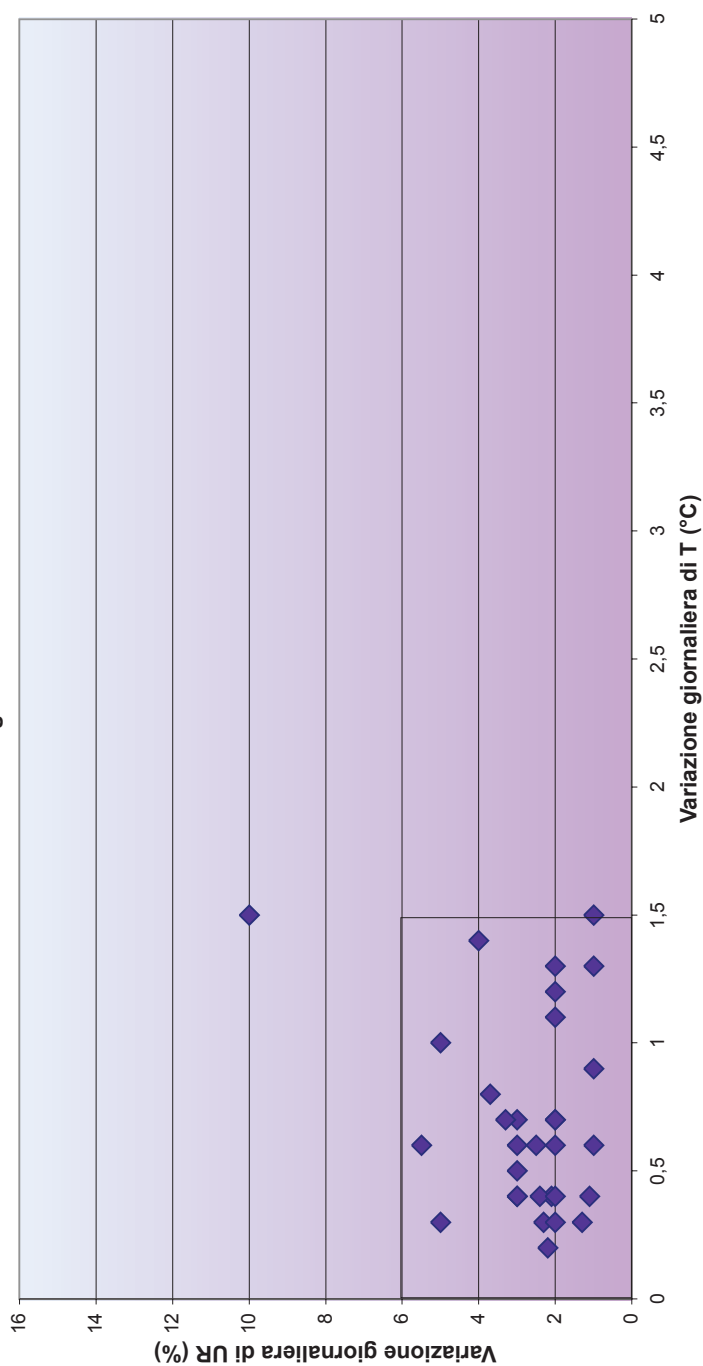


Grafico 2: Area di sicurezza per i materiali lignei (entro il rettangolo)

Sintesi



CAUSE E EFFETTI DI DEGRADO

Per conoscere le relazioni fra le cause e gli effetti che portano al degrado dei materiali dobbiamo individuare i parametri che sono coinvolti nel sistema e dobbiamo misurarli. È fondamentale che il responsabile del museo si renda conto dell'importanza dell'attività di conservazione preventiva e sia in grado di individuare le procedure da adottare e gli operatori professionali da interpellare per risolvere gli aspetti pratici del problema. In generale, la scelta dello strumento costituisce un importante problema in quanto condiziona la precisione della misura.

Misura dei parametri fisici

Sia la misura della umidità che della temperatura possono essere eseguite con l'impiego di numerosi tipi di igrometro e termometro basati su diversi principi di funzionamento. Per la misura del flusso d'aria una misura sufficientemente precisa è ottenuta mediante l'utilizzo dell'anemometro a filo caldo. Per quanto concerne le misure di radiazione luminosa, chi esegue le misure sa che il posizionamento del sensore è un punto critico che deve essere valutato attentamente per ottenere misure attendibili. Anche in questo caso esistono strumenti portatili per misure estemporanee e strumenti per misure continue.

La caratterizzazione dell'ambiente museale richiede altri parametri oltre quelli prettamente microclimatici come la *misura dei gas e della polverosità*. La maggior parte di queste misure debbono essere eseguite con operatore ma riteniamo che in un prossimo futuro possano essere gestite da centraline automatiche.

Una importante misura che dovrebbe essere eseguita periodicamente nelle sale e nei depositi dei musei è la misura della *carica fungina e batterica* presente in aria, attraverso il campionamento e l'analisi dei campioni in laboratorio microbiologico, da far condurre preferibilmente ad un laboratorio specializzato.

Sul mercato esistono *sistemi di monitoraggio* formati da numerosi sensori di vario tipo (spesso senza fili), installati nei diversi ambienti del museo, collegati a un datalogger che gestisce i tempi di misura e l'archiviazione dei dati e che può trasmettere i dati a un computer locale o a un centro di elaborazione remoto. Vantaggi di questi sistemi:

- una installazione del sistema meno onerosa poiché non è necessaria la posa di cavi
- una scelta più ampia della collocazione dei sensori
- la possibilità di riposizionamento dei sensori in caso di modifica all'allestimento degli ambienti
- l'ampliamento rapido della rete senza vincoli pregressi e modifiche hardware della centralina di acquisizione.

L'analisi dei dati microclimatici non sarà limitata alla sola rappresentazione dell'andamento dei parametri misurati, ma cercherà di fornire spiegazioni sul perché dell'andamento degli stessi, verificando l'esistenza di correlazioni con l'andamento di altri parametri anche non di natura fisica come l'affluenza dei visitatori in una sala, l'attivazione del sistema di riscaldamento o le operazioni di pulizia dei locali.

Questa filosofia è alla base del Progetto MUSA, nato dall'esperienza di IBC e CNR, con l'obiettivo di gestire totalmente da un centro di elaborazione remoto sia il funzionamento dell'hardware del museo (sensori e centralina), sia l'elaborazione dei dati acquisiti e la restituzione dei risultati al museo.

Nella pratica



ORGANIZZAZIONE

- Fate l'inventario di tutte le misure microclimatiche che sono state effettuate nel passato all'interno del museo. Se esistono, organizzate un archivio commentato in modo da potervi accedere rapidamente in caso di necessità.
- Chi gestisce la strumentazione deve conoscerla. È opportuno incaricare ufficialmente una persona della cura della strumentazione offrendole opportunità di corsi di formazione.
- Alcune domande utili sulle quali dovrete orientare la vostra attività:
 - che tipo di strumentazione è disponibile presso il museo?
 - qual'è il grado di efficienza della strumentazione esistente?
 - utilizzate regolarmente i dati registrati dagli strumenti?
 - ritenete di aver procedure efficienti per il controllo dello stato di conservazione delle opere?
 - se i dettagli operativi riguardanti la conservazione non sono per voi prioritari, cercate di affidare questo compito ad una persona di vostra fiducia, partecipando alle decisioni che dovranno essere prese in merito alle procedure.
 - se non lo avete già fatto, organizzate la raccolta dei documenti importanti che riguardano norme e raccomandazioni nazionali e regionali sulla conservazione. Internet può esservi di aiuto.

STRUMENTI

- Leggete la norma UNI 10829,1999 e individuate la strumentazione fondamentale da acquisire.
- Chiaritevi il concetto di misure estemporanee e di misure di monitoraggio continuo, e su questa base organizzate l'acquisto o meno di strumentazione.
- Per le misure estemporanee occorre strumentazione portatile, oggi tutta digitale.
- Per il monitoraggio continuo occorre strumentazione progettata per questo scopo la cui scelta richiede impegno e consultazioni con esperti. Anche se il costo di acquisto di una rete di sensori di media dimensione, paragonato ai costi che il museo sostiene annualmente per manutenzione e sorveglianza, è spesso largamente inferiore, la decisione comporta un investimento per il futuro. Una rete inaffidabile è inutile.
- Prima di interpellare un venditore, contattate una persona esperta di vostra fiducia per potervi meglio orientare nella scelta delle apparecchiature.

- Evitate l'acquisto di strumentazione a bassissimo prezzo della quale non conoscete l'affidabilità e precisione. Meglio non avere dati che avere dati non affidabili.
- La decisione di acquisire un sistema di monitoraggio per il museo include l'impegno della periodica manutenzione della strumentazione, *in primis* i sensori, i cui costi, anche se assolutamente sostenibili, vanno previsti fin dall'inizio. Senza manutenzione il monitoraggio diventa inaffidabile.
- Discutete prima dell'acquisto della strumentazione i dettagli della manutenzione strumenti.
- Controllate con meticolosità il contratto di manutenzione offerto dal venditore ed esigete i certificati che documentino le riparazioni e le tarature effettuate.
- Sarebbe buona norma essere in possesso di uno psicrometro di qualità per verificare periodicamente e rapidamente la taratura dei sensori elettronici di temperatura e umidità relativa. Non acquistate gli "psicrometri digitali": non possono essere usati come strumenti di riferimento. Fate un buon investimento con l'acquisto del classico psicrometro meccanico tipo Assman, da conservare con cura.

MISURE MICROCLIMATICHE

- Se avete la possibilità di effettuare i controlli in maniera autonoma è necessario acquisire pratica nella corretta gestione delle misure attraverso precisa documentazione e partecipazione a corsi di formazione.
- In caso non abbiate la possibilità di procedere autonomamente, sarebbe preferibile avvalersi di un servizio specializzato e referenziato, la cui offerta è oggi ampia e in crescita.
- Le misure più frequenti da eseguire sono: umidità relativa, temperatura, illuminamento.
- Se avete deciso di eseguire le misure da soli, osservate queste semplici regole:
 - Mantenete efficienti i vostri strumenti (termoigrometro e luxmetro), controllate il livello delle batterie di alimentazione prima di effettuare le misure.
 - Fate attenzione a non influenzare la misura con la vicinanza del vostro corpo.
 - Scegliete un punto di misura significativo e non perturbato da sorgenti di calore, umidità e luce.
 - Organizzate preventivamente le misure annotando tutte le informazioni fondamentali che riguardano le condizioni in cui le state effettuando (luogo, ora, data, coordinate del punto di misura).
 - Qualche scatto fotografico non è mai superfluo ed è di aiuto nell'interpretazione dei dati
 - Le misure vanno ripetute più volte nello stesso punto per poter valutare la variabilità.



- Mettetevi in condizione di poter ripetere la stessa misura a distanza di tempo.
- Nelle misure di temperatura e umidità controllate sempre la presenza di correnti d'aria anche poco avvertibili.
- Nelle misure di illuminamento posizionate il sensore del luxmetro perpendicolare alla superficie che riceve il flusso luminoso.
- Utilizzate le misure per controllare eventuali modificazioni dell'ambiente in seguito a lavori di riallestimento.
- Se già utilizzate un sistema di monitoraggio continuo:
 - Controllate periodicamente la corretta posizione dei sensori, soprattutto se sono cordless e installati su supporti mobili, facili da spostare.
 - Ricordate che ogni sensore è identificato dalla centralina e corrisponde ad un preciso punto di misura (sala, corridoio, deposito). Spostarli senza riassegnare al sensore la nuova posizione genera ovviamente problemi.
 - Controllate sempre che sia garantita l'alimentazione elettrica alla centralina la quale sopprime a temporanee mancanze di corrente, ma per tempi limitati e con poche ore di autonomia. Assicuratevi che nessuno possa staccare la spina dalla presa di corrente senza permesso.
 - In concomitanza con lavori di allestimento o di manutenzione delle sale, proteggete i sensori dalla polvere e vigilate affinché non subiscano urti.
 - Se la gestione della rete è autonoma, controllate giornalmente il corretto trasferimento automatico dei dati dalla centralina al PC; un rapido esame dei dati vi permetterà di verificare se vi sono problemi di acquisizione causati da sensori in avaria o più semplicemente da batterie scariche nei sensori cordless.
 - Se la gestione della rete è gestita da una società di servizi, consultate frequentemente il sito internet che vi è stato assegnato per rimanere informati sull'andamento del microclima nelle sale del museo: il controllo frequente di ciò che sta succedendo vi offre la possibilità di anticipare spesso ciò che avverrà, e questo a prescindere dal buon servizio che vi verrà offerto dal gestore della rete.

ELABORAZIONE DEI DATI

Il principale interesse del museo è avere la segnalazione tempestiva del superamento di soglie e la previsione di situazioni di rischio dei vari tipi di danno ai quali i materiali sono sottoposti.

- Nel capitolo sono state indicate semplici elaborazioni dei dati acquisiti, raccomandate dalla norma UNI 10829, che possono essere facilmente eseguite utilizzando il software Excel.
- L'archivio dei dati è un patrimonio importante che cresce di valore con il passare del tempo. Se usufruite di un servizio di gestione remota, chiedete al gestore di fornirvi un periodico aggiornamento dell'archivio per poter elaborare personalmente i dati o farli elaborare su vostre specifiche indicazioni.

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.

CAPITOLO

5



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-





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).

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.

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.

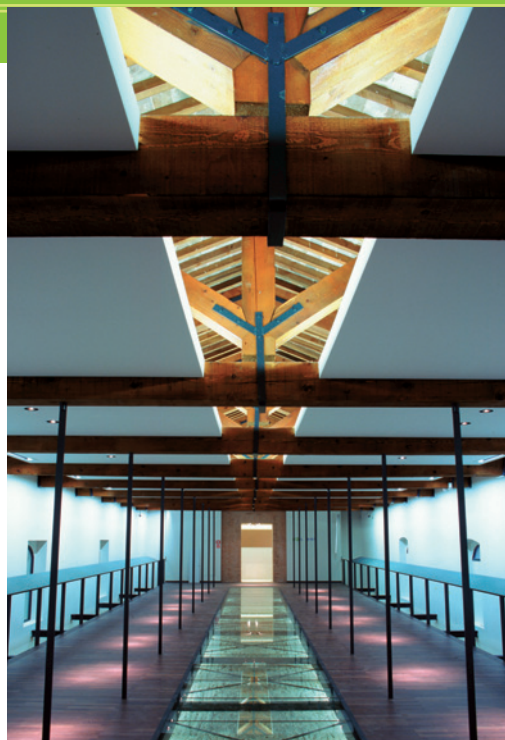
Determinate situazioni microclimatiche che si verificano nelle tipologie di edifici costruiti ad hoc possono favorire o causare processi di degradazione. Condizioni di secchezza dell'aria o escursioni termoisigrometriche sensibili e frequenti, dovute a errata regolazione degli impianti o a errori di 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 relative 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 poliuretaniche 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 *Tecche.*

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 trattengono 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.

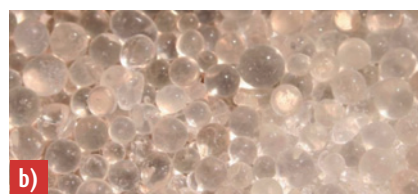
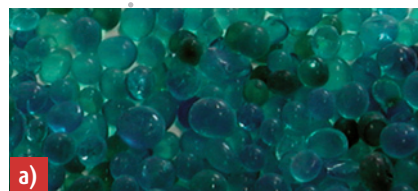
Generalmente, invece, i materiali da imballo vengono rimossi per separare gli oggetti originali dai materiali superflui: questa operazione è dannosa poiché accelera gli scambi di vapore fra oggetto e ambiente. In ogni caso per attuare questa tecnica di bilanciamento igrometrico, dobbiamo ricordare di 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'essiccante 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).

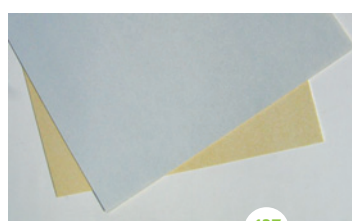
La capacità di assorbimento di questi prodotti è riportata nella tabella 5.1, nella quale accanto a PROSorb e ART SORB, vi sono due tipi di gel di silice microporoso e macroporoso.

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=MICROPOROSO		SILICA GEL TIPO E=MICROPOROSO	
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 essiccate*

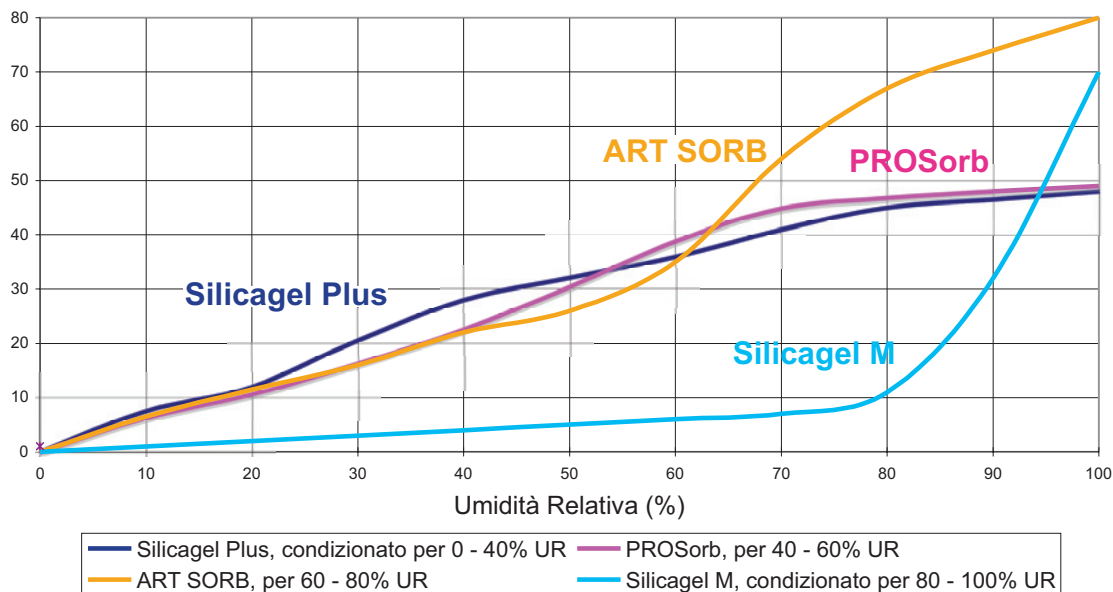
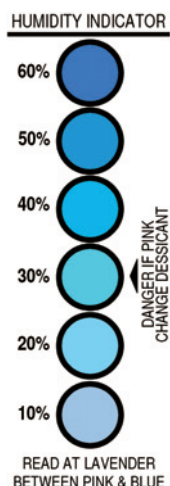
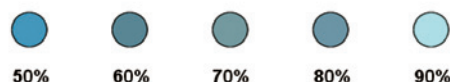


Fig 5.8 La striscia indicatrice per UR da 10 a 50%: il valore raggiunto viene indicato dal colore lavanda.



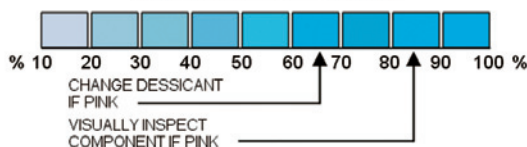
MAXIMUM HUMIDITY INDICATOR P/N MXC-5689



RELATIVE HUMIDITY PERCENTAGE
HIGHEST PERCENTAGE HOLE CONTAINING DISSOLVED CRYSTALS
INDICATES MAXIMUM HUMIDITY SURPASSED FOR A PROLONGED
PERIOD OF TIME (APPROX. 24 HRS.)

CURRENT HUMIDITY INDICATOR

READ AT LAVENDER BETWEEN PINK & BLUE



STORE IN ORIGINAL CONTAINER PRIOR TO USE.
REMOVE FROM BAG BEFORE USING.

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

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-

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. Teche, 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, polisolfidi, 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).

CAPITOLO

6



La movimentazione delle opere per le esposizioni temporanee



I criteri fondamentali per qualsiasi movimentazione di opere – per prestiti temporanei a mostre, per trasferimenti di sede, per restauro presso laboratori – seguono procedure simili.

In questo capitolo si descrivono in dettaglio le procedure relative alla movimentazione per esposizioni temporanee, oggi sempre più diffuse e critiche da un punto di vista conservativo e di organizzazione e coordinamento tra gli enti coinvolti (prestatori e richiedenti).

“Ogni museo è tenuto a definire e a verificare periodicamente i criteri che regolano sia l'esposizione permanente e temporanea degli oggetti sia la loro conservazione e consultazione nei depositi.....”

“Le esposizioni temporanee, soprattutto quelle che comprendono opere in prestito, devono rientrare in una programmazione pluriennale ed essere accuratamente progettate, con sufficiente anticipo, sotto il profilo sia scientifico sia organizzativo. Nell'ambito dell'attività espositiva, va prevista anche la rotazione degli oggetti in deposito, al fine di estendere l'accessibilità delle collezioni.

Ogni museo è tenuto ad assicurare la corretta gestione dei prestiti:

- *in uscita, attraverso la registrazione dei movimenti esterni degli oggetti, la verifica preventiva e consuntiva del loro stato di conservazione, la stipula delle condizioni di prestito, il servizio di accompagnamento delle opere quando necessario;*
- *in entrata, garantendo agli oggetti che ospita temporaneamente idonee condizioni di sicurezza e conservazione durante l'imballaggio, il trasporto e l'esposizione, stipulando una polizza assicurativa adeguata e rispettando le condizioni fissate dal prestatore.”*

da “Regolamentazione dell'esposizione permanente e temporanea” Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei, (D. Lgs. n.112/98 art. 150 comma 6)

L'organizzazione e l'esito delle esposizioni temporanee dipendono dall'esperienza e dalle capacità dell'ente organizzatore e dalla buona volontà dei responsabili dei musei e dei collezionisti privati che accettano di prestare opere d'arte per il gradimento e l'accrescimento culturale del pubblico [3]. In cambio del loro aiuto e per garantire la conservazione di queste opere, il richiedente deve controllare che esse vengano trasportate ed esposte in buone condizioni.

Questo tipo di evento deve in ogni caso essere considerato come il più rischioso per l'integrità delle opere trasferite, fra quelli normalmente affrontati dagli oggetti d'arte.

I rischi da considerare possono essere schematicamente suddivisi in danni per:

- inadeguate condizioni microclimatiche
- manipolazioni
- sollecitazioni meccaniche eccezionali

Il problema del mantenimento delle condizioni microclimatiche della sede originaria dell'opera rappresenta indubbiamente la maggiore fra le difficoltà da affrontare durante il periodo di trasfe-

rimento dell'opera stessa. È infatti praticamente impossibile, salvo l'adozione di complessi e costosi contenitori di trasporto, assicurare costanti condizioni termoigrometriche durante tutte le fasi di trasferta dell'opera che elenchiamo di seguito accanto alle condizioni di sollecitazioni meccaniche:

- condizioni microclimatiche durante le fasi di preparazione dell'opera per l'imballo e sollecitazioni meccaniche dovute alle manipolazioni
- condizioni microclimatiche durante le fasi di trasporto dell'opera e relative sollecitazioni meccaniche
- condizioni microclimatiche all'apertura dell'imballo e relative manipolazioni
- condizioni microclimatiche durante il periodo di esposizione dell'opera
- operazioni di re-imballo dell'opera
- trasporto di rientro con eguali problematiche
- operazioni di liberazione dell'opera dall'imballo e riposizionamento nell'ambiente originale.

Come si può ben vedere, l'opera in trasferimento è sottoposta a condizioni comunque eccezionali e rischiose a prescindere dalla perizia dei responsabili e degli operatori che intervengono su tutte le fasi di questa operazione [6]. I rischi di danno sono ovviamente commisurati alla natura dell'oggetto e alle sue condizioni di conservazione al momento del trasferimento [1,2].

Operativamente, non considerando tutta l'attività che concerne gli aspetti formali ed amministrativi delle operazioni di prestito dell'opera, possiamo suddividere il trasferimento in:

- preparazione dell'opera
- trasporto
- permanenza alla esposizione temporanea
- preparazione per il rientro
- trasporto
- ricollocazione nel sito di origine.

Non tratteremo in questa sede i dettagli dei materiali e delle procedure per l'imballaggio delle opere d'arte, poiché queste sono generalmente affidate a imprese di trasporto e ad operatori che abitualmente eseguono queste operazioni. Tuttavia riteniamo necessario fornire e ribadire alcuni criteri fondamentali di tipo tecnico che sovente non sono chiari o sfuggono anche agli estensori di importanti documenti e linee guida: ci riferiamo al concetto di *persistenza delle condizioni microclimatiche*, concetto che dovrebbe guidare tutta l'attività condotta per la conservazione, e al con-

petto di necessità di *controlli quantitativi* di queste condizioni.

Ancora una volta sottolineiamo che queste nozioni non dovrebbero essere ritenute esclusivo appannaggio di “tecnici”, ma dovrebbero far parte del bagaglio culturale di tutti coloro che trattano di beni culturali e che hanno a cuore la sopravvivenza di questa eredità all'avvicendamento delle amministrazioni pubbliche e private.

6.1 IL TRASPORTO E L'ACCLIMATAMENTO DELLE OPERE

Riguardo alla persistenza delle condizioni microclimatiche e in particolar modo di quelle termoigrometriche, dovremo vigilare come sempre che non si verifichino situazioni di bruschi cambiamenti dei principali parametri come la temperatura e l'umidità relativa. Abbiamo parlato nei precedenti capitoli di equilibrio fra il contenuto di acqua dei materiali (legno, tele, carta, cuoio) e l'aria circostante. Ebbene, questo equilibrio, che auspichiamo sia stato raggiunto dall'opera nella sua sede di origine, dobbiamo cercare di mantenerlo anche durante tutte le fasi di trasferimento a cominciare dalle operazioni di imballaggio.

Certamente il trasportatore è l'esperto per eccellenza delle protezioni contro gli urti e le vibrazioni ma potrebbe non esserlo o potrebbe considerare non importante il problema della protezione contro rapidi cambiamenti termoigrometrici [7,8,9,10].

La maggior preoccupazione di tutti, responsabili e tecnici, è infatti il pericolo dell'eccessiva umidità, giusta preoccupazione che però spesso viene risolta con l'abbondante uso di sostanze deumidificanti o essicanti e con protezioni impermeabili al passaggio di vapor d'acqua (film plastici impermeabili).

Spedireste voi fiori sistemandoli in un contenitore con piccoli sacchetti di gel di silice? Certamente no, con il rischio di farli arrivare disidratati, e pertanto non lo faremo nemmeno noi con l'opera d'arte in partenza per una mostra temporanea.

La collaborazione fra voi e le persone incaricate dell'imballaggio è estremamente importante e deve portare al rispetto dei criteri di buona conservazione oltre che a quelli di trasporto sicuro. Pertanto ci preoccuperemo che:

- tutta l'operazione di imballaggio avvenga nello stesso ambiente in cui è conservata l'opera (fig. 6.1)
- le casse e il materiale per l'imballo siano stati acclimatati nello stesso ambiente per almeno una giornata
- oltre a film plastici con bolle d'aria e schiume, vengano utilizzati come riempimento materiali sensibili all'umidità atmosferica come carte e cartoni.

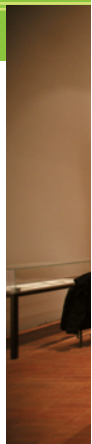




Fig 6.1 Opere in fase di acclimatazione dentro le casse, in attesa di essere sistemate nei locali dell'esposizione temporanea.

Se quest'ultima prescrizione vi ha reso perplessi, ve ne spieghiamo subito il motivo.

Se i punti di riferimento sono:

- a) l'equilibrio del contenuto d'acqua dell'oggetto e l'umidità dell'ambiente;
- b) la necessità che questo equilibrio non si modifichi bruscamente

allora dobbiamo fare in modo che vi sia una massa di materiale, oltre all'oggetto, in grado di agire come volano termoisolante all'interno della cassa; pertanto utilizzeremo carta,

cartone e stracci (rigorosamente acclimatati all'ambiente nel quale si trovano oggetto e imballi) che andranno a riempire spazi vuoti ed assolveranno a questa funzione.

Nella stessa cassa sistemeremo anche materiale essiccante di nuova generazione (tipo PROSorb) in grado di mantenere, entro certi limiti di volume e caratteristiche delle casse e di tempo di permanenza, una certa percentuale di umidità relativa.

Abbiamo per il momento rispettato il criterio di "mantenimento" delle condizioni microclimatiche, dobbiamo ora rispettare quello della "registrazione" di queste condizioni.

Lo facciamo inserendo un micro datalogger in grado di misurare continuamente temperatura e umidità all'interno della cassa.

Potremo utilizzare uno strumento fra i più affidabili e relativamente economico: il Tinytag del quale abbiamo già parlato nel capitolo delle misure (fig. 6.2). Ne esistono altri con caratteristiche simili che potremo egualmente prendere in considerazione, ma ora il più importante problema è chi dovrà gestire questo tipo di strumento. Una soluzione possibile è che sia il trasportatore o una compagnia di servizi a lui associata, a offrire il servizio e a gestire lo strumento ed i relativi dati che dovranno poi essere resi disponibili al proprietario dell'opera in movimento.

L'alternativa è che siate voi, in veste di prestatore dell'oggetto, a gestire l'intero processo peraltro molto semplice, attraverso la disponibilità di personale del vostro museo.

I dati di questa "scatola nera" vi serviranno per conoscere l'effettiva storia termoisolante del viaggio del vostro materiale.

Nel caso di opere già contenute in climabox, l'imballaggio è certamente più semplice ma è consigliabile seguire la stessa procedura.



a)

Fig 6.2 Micro datalogger da inserire nelle casse durante la fase di trasporto:

- a) strumento per il monitoraggio delle sollecitazioni dinamiche e termoisolometriche;
- b) strumento che registra temperatura e umidità relativa.



b)

Chiusa la cassa, sarà il trasportatore di fiducia a seguire tutto l'iter di viaggio per farla arrivare a destinazione, mettendovi a disposizione via internet, per vostra tranquillità, il monitoraggio del percorso via via effettuato.

La vostra presenza di prestatore sarà nuovamente necessaria all'arrivo dell'opera a destinazione.

Le procedure saranno principalmente quelle che sono state eseguite nelle fasi di imballaggio, con qualche variazione.

Innanzitutto, vi sarete accordati con il richiedente organizzatore della mostra, affinché le casse arrivate siano poste quanto prima in un locale il più prossimo e con caratteristiche simili a quelle dei locali della mostra, per poter iniziare la fase di acclimatamento dei materiali a casse chiuse. L'importanza di mantenere le casse chiuse per alcuni giorni in locali adatti, dovrebbe risultare ormai ovvia: mitigare le differenze di temperatura e di umidità fra l'ambiente esterno e l'interno degli imballi.

Questa fase detta di acclimatamento è molto importante e va posta come condizione inderogabile alla organizzazione che ha richiesto l'opera, come pure la documentazione firmata dei rilievi termoigrometrici eseguiti nei locali di destinazione.

Al momento concordato:

- gli oggetti verranno liberati dagli imballi
- il datalogger che ha seguito l'oggetto verrà recuperato dalla persona incaricata per poter effettuare lo scarico dei dati
- gli oggetti verranno sistemati nelle loro collocazioni definitive di esposizione.

Sarà ancora nostro compito esigere che:

- vengano messi a disposizione i rilievi termoigrometrici dei locali di esposizione
- nel caso di quadri o tavole appese, queste non siano a contatto della parete, ma vi sia una intercapedine di aria di almeno 3 centimetri per oggetti di piccole dimensioni e 5 centimetri per oggetti di grandi dimensioni
- sia disponibile, ad allestimento completato, una misura di illuminamento sugli oggetti prestati
- non vi siano nelle vicinanze dell'oggetto bocchette di circolazione dell'aria
- non vi sia radiazione solare che in un qualche momento della giornata colpisca l'oggetto.

Approfondimenti

ASPETTI AMMINISTRATIVI DEL TRASPORTO

Per il trasporto delle opere dovranno essere impiegati esclusivamente degli specialisti.

In caso di disaccordo fra il prestatore e il richiedente sul mezzo di trasporto, la decisione finale sul mezzo da utilizzare spetta al prestatore. Tuttavia, nei limiti del possibile, il prestatore dovrà accettare qualsiasi proposta che consenta di ridurre i costi, pur rispettando la sicurezza delle opere.

Qualsiasi decisione relativa al trasporto dovrà tenere conto prioritariamente dei problemi di sicurezza e protezione delle opere d'arte, anche se una



Fig 6.3 Operazioni di imballaggio di un'opera.

Nel caso siate voi l'organizzatore della mostra e quindi il richiedente delle opere, comportatevi come se voi foste il prestatore.

Per quanto riguarda gli argomenti che riguardano "Imballaggio e Spedizione" (fig. 6.3), può essere utile ricordare alcune operazioni importanti che debbono essere eseguite e che fanno parte delle informazioni che debbono essere scambiate fra prestatore e trasportatore e fra prestatore e altre organizzazioni coinvolte:

- specificare quale sede sarà responsabile delle operazioni iniziali di costruzione delle casse, degli imballaggi, della spedizione, dell'esposizione, degli accompagnatori e dello sdoganamento.
- specificare quale sede sarà responsabile di ogni tappa del trasporto fra le diverse sedi e del trasporto per il ritorno, inclusi gli accompagnatori e lo sdoganamento.
- chiarire che l'istituzione organizzatrice deve adeguarsi alle esigenze dei prestatori per quanto riguarda gli accompagnatori dei trasporti iniziali e finali, ma insistere affinché i prestatori accettino un trasporto di gruppo con un solo accompagnatore.

Assicurarsi che l'istituzione organizzatrice faccia di tutto per ridurre al minimo il numero degli accompagnatori negli spostamenti da una sede all'altra, assumendo questa responsabilità anche per gli organizzatori dell'esposizione nelle diverse sedi.

Precisare ogni tappa del trasporto fra le sedi.



ASPETTI AMMINISTRATIVI DELL'ALLESTIMENTO

compagnia aerea o una casa di spedizioni agisse da sponsor o offrisse costi ridotti.

Qualora il prestatore esiga una scorta di polizia per tutto il trasporto o una parte dello stesso, la domanda dovrà essere stipulata a monte dell'esposizione, prima della sottoscrizione del contratto di prestito, in modo che sia possibile valutare i costi e che il richiedente e il prestatore possano vagliare i pro e i contro della necessità di una tale scorta.

Il richiedente deve garantire le condizioni di conservazione (luce e temperatura) richieste dal prestatore.

Qualsiasi accettazione deve essere strettamente subordinata alle condizioni imposte dal prestatore, dalla compagnia di assicurazione o di risarcimento, che escludono, in particolare, la possibilità di mangiare o bere nelle sale dell'esposizione.

I fotografi, gli operatori televisivi ecc. devono sempre operare sotto la sorveglianza di un rappresentante di chi usufruisce del prestito e tenere sempre presenti le condizioni di illuminazione espresse dal prestatore.

È fortemente sconsigliato un aumento dell'illuminazione abituale. Che si tratti o meno di una condizione di prestito, qualora l'accompagnatore non sia certo delle condizioni di sicurezza dell'opera dovrebbe:

- dare consigli sui metodi di manipolazione
- provvedere a controllare l'allestimento, d'accordo con l'organizzatore della mostra
- verificare che l'opera sia adeguatamente protetta durante il periodo in cui è esposta
- verificare le condizioni ambientali.

6.2 DOCUMENTAZIONE NECESSARIA ALLA PREPARAZIONE E ALLO SVOLGIMENTO DI UNA MOSTRA TEMPORANEA

Allo scopo di codificare le informazioni necessarie all'organizzazione e allo svolgimento di una mostra temporanea, può essere opportuno predisporre schede e relazioni che raccolgano informazioni indispensabili alla sicurezza del movimento delle opere e per l'organizzazione che cura il trasferimento.

Le schede dovrebbero riportare informazioni sulla struttura ospitante e sullo stato di conservazione del materiale prestato.

SCHEDA TECNICA DELLA STRUTTURA OSPITANTE

Spazi espositivi

- Descrizione e caratteristiche delle aree in cui si svolgono le esposizioni temporanee.
- Descrizione dei loro accessi.
- Come vengono ricevute le opere prestate? (indicare se esiste una zona di scarico coperta o all'aperto, oppure un montacarichi).
- Quali sono i limiti d'ingombro delle casse (cioè le loro dimensioni)? Dove vengono depositate o tolte dall'imballaggio le opere prestate? Chi manipola le opere prestate, le imballa e le disimballa? Descrizione dei metodi di allestimento.

Ambiente

- Descrizione dell'ambiente della mostra, delle zone di deposito e di imballaggio/disimballaggio.
- Caratteristiche della climatizzazione degli ambienti interni (temperatura, umidità, aerazione, illuminazione) corredate da tabelle e grafici illustranti l'andamento microclimatico annuale.

RELAZIONE TECNICA SULLO STATO DI CONSERVAZIONE DEL MATERIALE PRESTATO

- Indicare chi è responsabile della relazione iniziale (accompagnata da una fotografia siglata) all'arrivo nella prima sede espositiva.
- Specificare chi ha il compito di controllare le opere, ogni volta che vengono imballate e disimballate, chi aggiungerà delle annotazioni e chi firmerà le relazioni tecniche.

- Decidere chi deve avvertire il prestatore di qualsiasi cambiamento nello stato di conservazione di un'opera.
- Specificare che qualsiasi accordo per avviare il restauro di un'opera deve essere confermato per iscritto e messo a verbale.
- Chiarire chi conserverà le relazioni tecniche una volta conclusa l'esposizione.

REIMBALLAGGIO PER IL RITORNO

Al termine dell'esposizione, tutti gli obblighi sopra citati devono essere adempiuti a ritroso, come indicato di seguito.

- Verificare e approvare lo stato dell'opera e firmare i relativi documenti, reimballare o presenziare al reimballaggio in un luogo pulito e senza ingombri, controllare tutte le operazioni di manipolazione, non lasciare mai l'opera incustodita, a meno che si tratti di un locale sicuro chiuso a chiave. Infine, all'arrivo, verificare le condizioni dell'opera con il conservatore o restauratore responsabile della stessa, o confrontarla con la relazione iniziale.
- In occasione di ciascun viaggio dovrebbe essere redatta dagli accompagnatori e consegnata al responsabile del registro, o al suo equivalente, una relazione, che potrà assumere la forma di un questionario, in quanto le informazioni possono influenzare le decisioni future di prestare un'opera, con o senza accompagnatori.

Riguardo a questa fase conclusiva e delicata della restituzione delle opere prestate, va ricordato che è necessario informare l'istituzione prestatrice che sarà necessaria presso gli ambienti di destinazione l'opportuna procedura di riacclimatamento delle opere prima della loro collocazione.





Facsimile

RELAZIONE CON PROCEDURE DI RICONSEGNA OPERE

Oggetto: Monitoraggio microclimatico Mostra “.....”, Museo d’Arte.

Procedura di riconsegna al prestatore delle opere esposte.

Come richiesto si invia una nota di importanti raccomandazioni relative alle procedure di preparazione delle opere esposte per la rispedizione agli enti prestatori.

Le opere esposte alla Mostra “.....”, con particolare riferimento alle pitture su tavola, sono state mantenute dal al sotto costante e rigoroso controllo dei limiti di temperatura e umidità relativa richiesti dagli enti prestatori (allegare grafico termoigrometrico), subendo una ulteriore stabilizzazione entro tali limiti. Ciò premesso, si raccomanda di procedere come segue:

- 1) Procedere, appena possibile, all’imballaggio delle opere secondo le metodologie già utilizzate dal trasportatore. Sottolineiamo che l’impiego di sostanze essiccanti non regola la percentuale di umidità ma solamente la abbassa, compatibilmente con la quantità di essiccante disponibile nell’imballo.
- 2) Redigere una lettera indirizzata al responsabile dell’ente prestatore, illustrante l’attestazione delle condizioni termoigrometriche alle quali è stata mantenuta l’opera durante la Mostra e, contestualmente, indicare le precauzioni da tenere nella ricollocazione dell’opera stessa nell’ambiente di destinazione.

Le opere esposte alla Mostra “.....” sono state sottoposte a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ di temperatura e a $50 \pm 5\%$ di umidità relativa per l’intera durata della Mostra.

All’arrivo a destinazione del materiale imballato procedere come segue:

- 1) Non aprire l’imballo.
- 2) Controllare le condizioni di temperatura e umidità relativa dell’ambiente nel quale verrà collocata l’opera.

Nel caso i valori di temperatura e di umidità relativa si discostino dai valori prefissati per più di 3°C e di 10%:

- 1) Posizionare l’imballo in un ambiente controllato con valori di T e UR intermedi fra quelli di riferimento della Mostra e quelli di destinazione.
- 2) Aprire l’imballo senza estrarre l’oggetto.
- 3) Tenere l’oggetto in queste condizioni per almeno 4 giorni.
- 4) Al termine, posizionare l’imballo aperto e contenente l’oggetto, nell’ambiente definitivo e toglierlo dall’imballo dopo almeno 2 giorni per la collocazione definitiva.

Data e firma

A questo scopo verrà inviato all'istituzione prestatrice un rapporto conclusivo delle condizioni microclimatiche alle quali le opere sono state sottoposte durante il periodo di esposizione temporanea unitamente ad una nota che riassume la procedura di riacclimatamento presso i musei di origine (tab. 6.1).

6.3 MOVIMENTO DI MATERIALI PARTICOLARMENTE SENSIBILI

Fra gli oggetti e i materiali di valore artistico ve ne sono alcuni particolarmente sensibili ai trasferimenti e ai cambiamenti delle caratteristiche dell'ambiente: sono i dipinti su tavola e i pastelli. Riportiamo di seguito un promemoria delle principali problematiche connesse al loro prestito.

Questi due elenchi possono sembrare banali o verbosi, ma sono ricchi di importanti puntualizzazioni e spunti per meglio focalizzare i problemi pratici di protezione e conservazione delle opere in movimento.

6.3.1 Prestito di dipinti su tavola

ELENCO SINTETICO DEI PUNTI DA VERIFICARE

1. Condizioni

1.1 Qual è lo spessore della tavola? Le tavole più problematiche sono quelle grandi e sottili in legno massello, che presentano numerosi nodi, giunture o fessurazioni.

1.2 Quali sono le dimensioni della tavola? Maggiori sono le dimensioni della tavola, maggiore è la sua fragilità.

1.3 È provvista di un supporto costrittivo quale un telaio? È possibile muovere liberamente le traverse? Se le traverse scorrono liberamente, i rischi di incrinature sono minimi; tuttavia la pellicola pittorica può subire rotture o sollevarsi più facilmente a causa delle variazioni della percentuale di umidità relativa del legno.

1.4 La tavola presenta delle fessurazioni?

1.5 La grana è irregolare? Il legno è stato tagliato radialmente o a quarti? Le tavole tagliate radialmente o a quarti sono in genere più stabili. I tagli obliqui hanno tendenza a deformarsi.

1.6 La tavola ha già presentato problemi di sollevamento della pellicola pittorica o altri problemi riguardanti la superficie?

1.7 Ha subito recentemente perdite di materiale?

1.8 L'aderenza fra l'imprimatura e il supporto ligneo è soddisfacente?

2. Condizioni climatiche nei locali del prestatore

2.1 Quali sono le normali condizioni di esposizione o di deposito?

2.2 Tali condizioni rimangono sempre costanti?

3. Ente che prenderà in prestito l'opera d'arte

3.1 Quali sono le informazioni disponibili sull'ente che prenderà in prestito l'opera d'arte?

3.2 Quali sono le competenze dei suoi addetti alla movimentazione?

3.3 Qual è l'importanza dell'opera nel contesto dell'esposizione?

4. Condizioni climatiche nei locali dell'ente che prenderà in prestito l'opera d'arte

4.1 Verificare le condizioni climatiche nei locali dell'ente che prenderà in prestito l'opera d'arte.

4.2 Richiedere un rapporto recente sugli impianti di climatizzazione presenti, con l'indicazione dei dati relativi alla temperatura e all'umidità relativa rilevati nello stesso periodo dell'anno precedente nelle sale espositive e nelle aree di imballaggio e deposito.

5. Misure di protezione consigliate

5.1 Trattare tutte le imperfezioni e i punti fragili prima di prestare l'opera.

5.2 Fissare accuratamente il dipinto su tavola in una cornice appositamente costruita, preferibilmente provvista di tamponi in sughero in grado di assorbire parzialmente gli urti. Una soluzione alternativa prevede l'utilizzo di piccoli blocchi in espanso denso tagliati secondo le esigenze.

5.3 Fissare sulla cornice un foglio di materiale di interposizione poco permeabile all'umidità e un vetro (preferibilmente laminato per ragioni di sicurezza e a basso potere riflettente per ragioni di visibilità), in modo da creare un microclima all'interno. È possibile inoltre mettere il dipinto su tavola in una vetrina climatizzata in plexiglas fissata alla scanalatura della cornice. Tuttavia il perspex e il plexiglas risultano sempre meno soddisfacenti per quanto riguarda la visibilità.



Fig 6.4
*Operazioni
di imballaggio
di un dipinto.*

6. Casse di imballaggio – imballaggio e trasporto (fig. 6.4)

6.1 Realizzare una cassa speciale per la tavola che mantenga le forze superiori a 40 G in caso di caduta da un metro di altezza o di capovolgimento.

6.2 Prevedere una guarnizione di 5 cm su tutti i lati (in poliestere o poliuretano), con una protezione supplementare di ulteriori 5 cm per il fondo: questo tipo di cassa proteggerà l'opera dai normali urti e la fascia protettiva fornirà qualche ora di isolamento termico. La superficie dell'opera d'arte non deve stare a contatto con la fascia protettiva.

6.3 Avvolgere la cornice in un foglio di polietilene e sigillare l'involucro con nastro adesivo prima di sistemarlo nella cassa.

6.4 Specificare che un accompagnatore deve scortare il dipinto su tavola e controllarne tutte le manipolazioni.

7. Stato di conservazione dell'opera

7.1 È necessario valutare lo stato di conservazione dell'opera nonché le sue relazioni con l'ambiente abituale.

7.2 È necessario esaminare i rischi potenziali legati al trasporto e all'esposizione in un luogo diverso.

7.3 È impossibile conoscere alla perfezione lo stato di conservazione di una tavola, ma si può imparare molto da casi simili.

7.4 Il tipo di legno, lo spessore, l'irregolarità della grana, l'aderenza fra imprimitura e la tavola, la presenza di strutture di supporto ausiliari quali telai sono tutti fattori che influiscono sul comportamento di un dipinto su tavola.

8. Ambiente circostante

8.1 Un dipinto su tavola che sia stato mantenuto in condizioni stabili si è adattato alle stesse.

8.2 Una variazione significativa dell'umidità relativa modificherà lentamente l'umidità contenuta nel legno con modalità che dipendono dalla specie, dallo spessore e da eventuali trattamenti isolanti; tale variazione potrebbe provocare la deformazione, la rottura e il sollevamento della pellicola pittorica.

8.3 La maggior parte degli antichi dipinti su tavola ha subito fenomeni di sollevamento della pellicola pittorica nel corso dei secoli, a seconda del loro luogo di conservazione.

8.4 I dipinti su tavola conservati in condizioni stabili presentano uno stato migliore, ma sono anche più sensibili alle variazioni.

8.5 I dipinti su tavola conservati in condizioni instabili possono aver subito maggiori perdite di materiale. Di conseguenza possono essere stati sottoposti a numerosi interventi di consolidamento, il che li rende meno sensibili alle variazioni.

9. Protezione contro le variazioni delle condizioni ambientali

9.1 L'aggiunta di un foglio di materiale di interposizione e di un vetro creerà un microclima intorno alla tavola tale da proteggerla dalle variazioni di umidità relativa qualora venga conservata in una sala non climatizzata. In ogni caso, se si dovessero verificare variazioni, queste sarebbero comunque lente e progressive.

9.2 Un tale trattamento costituisce una protezione sufficiente per la maggior parte dei dipinti su tavola; di fatto l'esperienza ha dimostrato che con tale

trattamento dipinti in precedenza “problematici” hanno richiesto minimi trattamenti, o non hanno richiesto alcun trattamento per molti anni.

9.3 Dipinti su tavola non protetti, conservati in sale provviste di impianto di aria condizionata, potrebbero correre un notevole rischio qualora si verificasse un guasto all'impianto.

9.4 Le tavole di spessore elevato non sono sensibili alle piccole variazioni delle condizioni ambientali; le tavole sottili sono più sensibili.

9.5 L'azione combinata di una cornice, di un microclima (foglio di materiale di interposizione e vetro) e di un sistema di condizionamento d'aria offre i migliori risultati possibili.

10. Protezione durante il trasporto

10.1 Il fatto di avvolgere il dipinto su tavola in un foglio di polietilene e di inserirlo in un'apposita cassa lo protegge efficacemente dalle variazioni di umidità relativa: tali protezioni permettono infatti di mantenere l'umidità a un livello stabile, anche se l'umidità relativa e la temperatura esterna dovessero variare.

10.2 Le variazioni di temperatura possono provocare una leggera variazione dell'umidità relativa all'interno del pacco; ma ciò non comporterà alcuna variazione della percentuale di umidità (salvo in caso di utilizzo di gel di silice).

10.3 Il fatto di trasferire da un museo all'altro un dipinto su tavola provvisto di microclima non implica un maggior rischio di variazione dell'umidità relativa rispetto al fatto di lasciarlo nel museo originario.

10.4 Il trasferimento da un locale con condizioni più estreme di quelle controllate di un museo comporta il verificarsi di maggiori variazioni dell'umidità relativa. In tal caso è possibile aggiungere alla cornice del gel di silice preconizionato o altri materiali igroscopici in grado di attenuare queste variazioni. È fondamentale che l'imballaggio sia perfettamente sigillato.

10.5 Le precauzioni nella movimentazione sono essenziali e un accompagnatore deve scortare il dipinto su tavola durante il trasporto.

10.6 L'opera deve viaggiare preferibilmente nel senso della venatura del legno (ovvero nel senso che consenta la migliore distribuzione dei carichi). Ciò può risultare impossibile nel caso di un dipinto su tavola grande, a causa dell'instabilità della cassa.

11. Rischi potenziali

11.1 Tavole grandi sottili in legno massello che presentano numerosi nodi, giunzioni o fessurazioni, ed eventualmente provviste di strutture di sostegno costrittive.

11.2 Tavole costituite da diversi parti che hanno fibre con direzioni diverse.

11.3 Dipinti su tavola che sono stati conservati in condizioni stabili con un'umidità elevata, che non sono state spostate per molti anni e che non sono provviste né di vetro né di un foglio di materiale di interposizione

11.4 Sale non climatizzate in inverno.

11.5 Funzionamento difettoso dei sistemi di condizionamento d'aria.

11.6 Restituzione di una tavola non protetta a condizioni ambientali molto diverse rispetto a quelle dei locali dell'ente che ha preso in prestito l'opera.

11.7 Movimentazione scorretta delle opere.

12. Possibili problemi dopo un prestito

12.1 I danni dovuti alle variazioni di umidità relativa o di temperatura possono comparire molto tempo dopo; il dipinto può presentare dei difetti di adesione della pellicola pittorica anche dopo settimane o mesi.

12.2 I danni più impercettibili che non creano problemi immediati sono difficili da rilevare (lo stesso vale per le opere non prestate).

6.3.2 Prestito di disegni a pastello

Fra tutte le categorie di opere i pastelli si rivelano i più vulnerabili a causa del carattere polverulento della tecnica. I pastelli non fissati, nella maggior parte dei casi, sono troppo fragili per sopportare trasporti.

1. Condizioni

1.1 Il pastello è fissato?

1.2 In caso affermativo, è sufficientemente stabile per sostenere un viaggio effettuato con tutte le precauzioni del caso?

1.3 Il pastello è provvisto di cornice con supporto rigido?

2. Condizioni ambientali

2.1 Controllare che le condizioni nelle sale di esposizione del pastello siano sufficientemente stabili.

2.2 Verificare l'esistenza di una relazione tecnica recente sugli impianti di climatizzazione.

3. Principali pericoli

3.1 L'adesione del pigmento al supporto è molto debole e quindi si altera facilmente.

3.2 Vibrazioni: qualsiasi urto contro la cornice ha un impatto sul pigmento. È necessario ridurre al minimo le vibrazioni eccessive e la loro risonanza sul supporto, dato che è impossibile eliminarle completamente.

3.3 Anche un minimo urto può essere pericoloso.

4. Protezione necessaria per il prestito

4.1 È necessario realizzare appositamente un supporto rigido e una cornice provvista di un vetro: in effetti i supporti rigidi hanno una frequenza naturale elevata molto diversa da quella degli altri materiali d'imballaggio e i fenomeni di risonanza dovuti alle vibrazioni del veicolo vengono quindi eliminati.

4.2 Un imballaggio ben progettato e provvisto di efficienti imbottiture previene gli urti, ma non le vibrazioni.

5. Vetri

5.1 Si raccomanda di proteggere i pastelli con una lastra di vetro laminato, preferibilmente a basso potere riflettente, per ragioni di visibilità. Tuttavia, se l'opera non è molto grande, il vetro laminato può essere evitato. È invece molto importante la rigidità della cornice.

5.2 Se correttamente montato, il vetro non laminato difficilmente si rompe in condizioni normali, soprattutto nel caso di opere di piccole dimensioni, a condizione che venga maneggiato con estrema cura.

5.3 Evitare l'uso del nastro adesivo sul vetro in quanto può produrre dell'elettricità statica al momento della sua applicazione o della rimozione.

5.4 Evitare lastre in plexiglas o di materiale acrilico in quanto non disperdono l'elettricità statica che può sollevare il pigmento del pastello.

5.5 Accertarsi che vi sia uno spazio sufficiente fra il pastello e la parte interna del vetro per evitare qualsiasi possibilità di sollevamento o di trasferimento del pigmento. Può essere necessario rialzare la cornice.

6. Trasporto

6.1 Specificare il tipo di imballaggio da utilizzare, in funzione del mezzo di trasporto.

6.2 Esigere una supervisione meticolosa, essenziale in tutte le fasi di manipolazione, imballaggio e disimballaggio, sia al momento dell'installazione che dello smontaggio.

6.3 Specificare che il pastello deve essere scortato da un accompagnatore.

6.4 Specificare il sistema di trasporto dopo aver consultato il restauratore interessato.

6.5 A prescindere dalle opinioni contraddittorie e dalle ricerche condotte sul migliore mezzo per trasportare l'opera, la soluzione del bagaglio a mano sembra essere in ogni caso la meno sicura a causa dei reali rischi di caduta o di capovolgimento.

6.4 LA DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ MICROCLIMATICA

Certamente quanto è stato detto vi è noto e fa parte della vostra esperienza, ma attenzione e rigore non sono mai superflui. Ad aiutarvi in questo compito vi sarà certamente un restauratore che controllerà lo stato delle opere in arrivo e durante tutta la permanenza per la durata della mostra.

Fra i vostri compiti e per ottemperare alla richiesta del prestatore, ci sarà la redazione di una dichiarazione di conformità microclimatica dei locali che ospitano gli oggetti prestati (tab. 6.2, fig. 6.5) Questo documento comproverà l'idoneità dei valori rilevati attra-

Tab 6.2

DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ MICROCLIMATICA

Oggetto: Misure termoigrometriche presso il Museo d'Arte "....."

DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ

Questo documento certifica la conformità alle richieste avanzate dagli Enti prestatori per la Mostra ".....", dicembre 05 – aprile 06.

Non essendoci uniformità di limiti di temperatura e umidità relativa richiesti dai numerosi Musei donatori, si sono adottati i limiti maggiormente restrittivi richiesti dal "....." di ed in particolare: temperatura 19 – 23 °C (66 – 74 °F), umidità relativa 45 – 55 %. La soglia di illuminamento è stata definita a 50 lux (circa 5 foot candles).

Le misure termoigrometriche sono state eseguite con strumentazione automatica provvista dei seguenti sensori sistemati a 150 cm dal pavimento:

temperatura: sensore Pt100, accuratezza 0.1%, risoluzione 0.025°C

umidità relativa: capacitivo, accuratezza 3%, risoluzione 0.1%

illuminamento: cella al silicio, accuratezza 3%VL, risoluzione 1 lux

Le misure sono state effettuate dal 26 ottobre al 28 novembre 2005 presso le sale 1, 2.

Il grafico allegato riporta i tracciati relativi alla sala 1 sostanzialmente sovrapponibili alla sala 2. I dati riportati si riferiscono a misure orarie.

I LIMITI DEI VALORI DI TEMPERATURA SONO STATI RISPETTATI AL 100% E SONO CONFORMI.

I LIMITI DEI VALORI DI UMIDITÀ RELATIVA SONO STATI RISPETTATI AL 98,98% (il 1,02% dei valori ha superato i limiti) E SONO CONFORMI.

I VALORI DI ILLUMINAMENTO RILEVATI NELLE SALE 1 E 2 VARIANO FRA 25 E 50 LUX E SONO CONFORMI.

Data e Firma

English translation

Subject: Measurements of temperature and relative humidity at Museo d'Arte "....."

DECLARATION OF CONFORMITY

This is to certify the conformity about the indoor conditions concerning the "....." Exhibition, December 2005 – April 2006.

The thresholds requested were:

Room Temperature: 19 – 23 °C (66 – 74 °F)

Room Relative Humidity: 45 – 55 %

Illumination (illuminance) of a surface: < 50 lux (about 5 foot candles).

Sensors utilized:

temperature: sensor Pt100, accuracy 0.1%, resolution 0.025°C

(segue)

(segue)

relative humidity: capacitive film, accuracy 3%, resolution 0.1%
illuminance: silicon cell, accuracy 3%VL, resolution 1 lux

Frequency of measurements: hourly

Period of time: 26th October – 28th November 2005

Rooms n. 1,2

The results of all measurements are displayed on the attached graph.

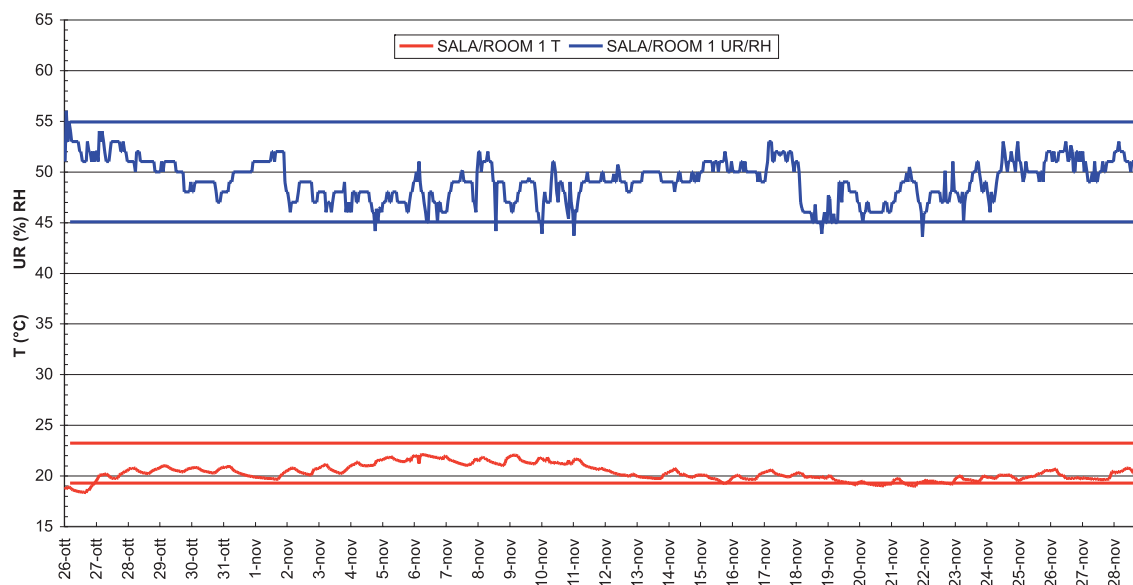
ALL THE VALUES OF TEMPERATURE ARE IN ACCORDANCE WITH THE THRESHOLDS REQUESTED.

THE VALUES OF RELATIVE HUMIDITY ARE IN ACCORDANCE WITH THE THRESHOLDS REQUESTED (only 1% of the values exceed the fixed limits).

THE RANGE OF THE RECORDED VALUES OF ILLUMINANCE IS 25 – 50 LUX, IN ACCORDANCE WITH THE THRESHOLDS REQUESTED.

Date and Signature

MOSTRA/EXIBITION "....."
Misure termoigrometriche - Temperature and Relative Humidity Measurements



verso misure eseguite negli ambienti di mostra ai fini della corretta conservazione, come richiesto dal prestatore. Il documento potrà essere redatto e firmato dalla direzione del museo, dal curatore o da altra organizzazione avente titolo.

Il facsimile qui riprodotto rappresenta un modello che può essere utilizzato per la dichiarazione.

Riguardo alla responsabilità, alla protezione e alla conservazione delle opere durante una mostra temporanea, può essere utile ricordare i seguenti punti che richiederanno per la loro esecuzione opportune procedure:

- Specificare che ogni sede deve impegnarsi a proteggere le opere d'arte prestate con la massima cura, in particolare nella loro manipolazione e installazione e che ognuno si impegna a rispettare le garanzie minime.
- Chiarire che nessun intervento deve essere effettuato su un'opera, salvo in casi di urgenza, senza l'autorizzazione del prestatore e decidere se spetta all'istituzione organizzatrice contattare il prestatore o se la sede in questione può essere autorizzata a farlo direttamente.
- Specificare che nessuna opera può essere tolta dalla sua cornice, qualunque sia la ragione, senza il consenso dell'istituzione organizzatrice e/o del prestatore. Stabilire chi deve ottenere questo assenso.
- Se nuovi supporti o nuove cornici vengono realizzati appositamente per l'esposizione in accordo con il prestatore, ma senza che lo stesso desideri riprenderli, chiarire chi ne sarà il proprietario a mostra conclusa.

Fig 6.5 Grafico allegato alla dichiarazione di conformità microclimatica. Le linee parallele rosse e blu indicano i limiti di temperatura e umidità relativa raccomandati dalla Norma UNI 10829.

A conclusione di questo argomento è doveroso segnalare che, nonostante la grande attenzione internazionale e ora anche nazionale sul tema della conservazione preventiva, siamo ancora lontani dall'aver raggiunto uno standard sulle condizioni di conservazione da osservare per i tanti tipi di oggetti, manufatti e materiali che costituiscono il patrimonio culturale. Non è infatti infrequente ricevere richieste di osservanza di limiti di conservazione per il materiale prestato, limiti che si discostano da quelli riportati dalle norme e le raccomandazioni oggi disponibili. A questo scopo, riportiamo l'esempio delle diverse raccomandazioni inviate dalle istituzioni che hanno prestato opere, in questo caso tavole dipinte, per l'allestimento di una esposizione temporanea.



MUSEO	T °C	UR %	MUSEO	T °C	UR %
Gran Bretagna	< 25	45 - 65	Austria	20 - 22	50 ?
Gran Bretagna	17 - 23	45 - 65	Spagna	20 - 24	50 - 60
Gran Bretagna	18 - 24	40 - 60	Olanda	15 - 25	53 - 57 ?
USA	20 - 21	45 - 55	Vaticano	18 - 20	55 - 60
USA	19 - 25	45 - 55	Milano	19 - 20	50 - 60
USA	16 - 26	45 - 60	Modena	15 - 20	50 - 60
USA	< 25	45 - 55	Parma	15 - 20	50 - 60
USA	19 - 23	45 - 55	Pesaro	16 - 22	50 - 60
Canada	18 - 22	45 - 55	Firenze	15 - 20	50 - 60
Irlanda	18 - 22	50 - 60	Napoli	19 - 24	50 - 60
Francia	< 22	45 - 55	Austria	20 - 22	50 ?
Francia	16 - 20	50 - 60	Spagna	20 - 24	50 - 60
NORMA UNI 10829	19 - 24	50 - 60			

Sintesi

L'organizzazione e l'esito delle **esposizioni temporanee** dipendono dall'esperienza e dalle capacità dell'ente organizzatore e dalla buona volontà dei responsabili dei musei e dei collezionisti privati che accettano di prestare opere d'arte per il gradimento e l'accrescimento culturale del pubblico.

Questo tipo di evento deve in ogni caso essere considerato come il più rischioso, nei confronti dell'integrità delle opere trasferite, fra quelli normalmente affrontati dagli oggetti d'arte.

I rischi da considerare possono essere schematicamente suddivisi in danni per:

- inadeguate condizioni microclimatiche
- manipolazioni
- sollecitazioni meccaniche eccezionali.

Il problema del mantenimento delle condizioni microclimatiche della sede originaria dell'opera rappresenta indubbiamente la maggiore fra le difficoltà da affrontare durante il periodo di trasferimento dell'opera stessa. Operativamente possiamo suddividere il trasferimento in:

- preparazione dell'opera
- trasporto
- permanenza alla esposizione temporanea
- preparazione per il rientro
- trasporto
- ricollocazione nel sito di origine.

Riguardo alla **persistenza delle condizioni microclimatiche** e in particolar modo di quelle termoisometriche, dovremo vigilare che non si verifichino situazioni di bruschi cambiamenti dei principali parametri come la temperatura e l'umidità relativa. Il pericolo dell'eccessiva

umidità viene spesso risolto con l'abbondante uso di sostanze deumidificanti o essicanti e con protezioni impermeabili al passaggio di vapor d'acqua (film plastici impermeabili). Inoltre ci si dovrà preoccupare che:

- tutta l'operazione di imballaggio avvenga nello stesso ambiente in cui è conservata l'opera
- le casse e il materiale per l'imballo siano stati acclimatati nello stesso ambiente per almeno una giornata
- oltre a film plastici con bolle d'aria e schiume, vengano utilizzati come riempimento materiali sensibili all'umidità atmosferica come carte e cartoni.

Per **registrare** le condizioni all'interno dell'imballo e per tutta la durata del trasporto, si può inserire un micro datalogger in grado di misurare continuamente

A queste richieste esposte in maniera numerica e riportate nella tabella 6.2, occorre aggiungere che il periodo di apertura della mostra alla quale ci stiamo riferendo era dicembre – maggio, ma nelle raccomandazioni non veniva fatta distinzione fra periodo invernale e periodo estivo. Come si sarebbe potuto ottemperare nel mese di luglio o agosto alla richiesta di mantenere la temperatura di 20°C nelle sale espositive, inaccettabile sia per il pubblico che per gli alti costi della produzione di freddo? La domanda ha una risposta che deve considerare una serie di fattori che vanno dalla protezione dell'opera d'arte alla gestione finanziaria di questi tipi di evento.

te temperatura e umidità all'interno della cassa (es. Tinytag).

Chiusa la cassa, sarà il trasportatore di fiducia a seguire tutto l'iter di viaggio dell'opera per farla arrivare a destinazione. All'arrivo a destinazione, le procedure saranno principalmente quelle che sono state eseguite nelle fasi di imballaggio, con qualche variazione.

Le casse arrivate dovranno essere poste quanto prima in un locale più prossimo e con caratteristiche simili a quelle dei locali della mostra, per poter iniziare la fase di acclimatamento dei materiali a casse chiuse, per mitigare le differenze di temperatura e di umidità fra l'ambiente esterno e l'interno degli imballi.

Questa **fase** detta di **acclimatamento** è molto importante e va richiesta come condizione inderogabile alla organizzazione richiedente come pure la documentazione firmata dei rilievi termoisigrometrici eseguiti nei locali di destinazione.

Al momento concordato:

- gli oggetti verranno liberati dagli imballi
- il datalogger che ha seguito l'oggetto

verrà recuperato dalla persona incaricata per poter effettuare lo scarico dei dati

- gli oggetti verranno sistemati nelle loro collocazioni definitive di esposizione.

Allo scopo di codificare le informazioni necessarie all'organizzazione e allo svolgimento di una mostra temporanea, può essere opportuno predisporre **schede e relazioni** che raccolgano informazioni indispensabili alla sicurezza del movimento delle opere e per l'organizzazione che cura il trasferimento.

Le schede dovrebbero riportare informazioni sulla struttura ospitante e sullo stato di conservazione del materiale prestatato. Verrà inviato all'istituzione prestatrice un rapporto conclusivo delle condizioni microclimatiche alle quali le opere sono state sottoposte durante il periodo di esposizione temporanea (dichiarazione di conformità microclimatica dei locali).

È bene ricordare che fra gli oggetti e i materiali di valore artistico ve ne sono alcuni particolarmente sensibili ai trasferimenti e ai cambiamenti delle caratteristiche dell'ambiente: sono i dipinti su tavola e i pastelli.

Nella pratica



LA MOVIMENTAZIONE DELLE OPERE PER ESPOSIZIONI TEMPORANEE

Garantire costanti condizioni termoigrometriche durante tutte le fasi di trasferta dell'opera, assicurandosi che:

- tutta l'operazione di imballaggio avvenga nello stesso ambiente in cui è conservata l'opera
- le casse e il materiale per l'imballo siano stati acclimatati nello stesso ambiente per almeno una giornata
- oltre a film plastici con bolle d'aria e schiume, vengano utilizzati come riempimento materiali sensibili all'umidità atmosferica come carte, cartoni e stracci. Nella stessa cassa sistemeremo anche materiale essicante di nuova generazione (tipo PROSorb) in grado di mantenere, entro certi limiti di volume e caratteristiche delle casse e di tempo di permanenza, una certa percentuale di umidità relativa.

Registrare le condizioni all'interno dell'imballo e per tutta la durata del trasporto, inserendo, in accordo con il trasportatore o con una società di servizi, un micro datalogger in grado di misurare continuamente temperatura e umidità all'interno della cassa (es. Tinytag).

Fase di acclimatamento: una volta arrivati gli oggetti a destinazione, accordarsi con il richiedente organizzatore della mostra affinché le casse siano poste quanto prima in un locale il più prossimo e con caratteristiche simili a quelle dei locali della mostra, per mitigare le differenze di temperatura e di umidità fra l'ambiente esterno e l'interno degli imballi. In seguito:

- liberare gli oggetti dagli imballi
- recuperare il datalogger che ha seguito l'oggetto per poter effettuare lo scarico dei dati
- sistemare gli oggetti nelle loro collocazioni definitive di esposizione.

Fase di allestimento: i quadri e le tavole appese non devono essere poste a contatto della parete ma deve essere prevista una intercapedine di aria di almeno 3 centimetri per oggetti di piccole dimensioni e 5 centimetri per oggetti di grandi dimensioni.

- eseguire almeno una misura di illuminamento sugli oggetti prestati
- non sistemare gli oggetti nelle vicinanze delle bocchette di circolazione dell'aria
- evitare che la radiazione solare in un qualche momento della giornata raggiunga l'oggetto.

Durante la mostra: è fondamentale assicurare un monitoraggio continuo di temperatura ed umidità relativa che servirà per produrre documentazione da inviare ai prestatori a garanzia della conformità degli ambienti espositivi.

Documentazione pre-mostra:

- Predisporre schede e relazioni che raccolgano informazioni indispensabili alla sicurezza del movimento delle opere e per l'organizzazione che cura il trasferimento. Le schede devono riportare informazioni sulla struttura ospitante e sullo stato di conservazione del materiale prestato.
- Redigere e inviare ai musei prestatori una dichiarazione di conformità microclimatica degli ambienti espositivi.

Documentazione post-mostra:

- Fornire ai musei prestatori le procedure di reimballaggio e acclimatamento delle opere dopo il rientro.

CAPITOLO

7



La gestione degli ambienti e dei visitatori



7.1 OPERATORI E VISITATORI

Ogni museo affianca al dovere della conservazione del proprio patrimonio la missione, rivolta a varie e diversificate fasce di utenti, di rendere possibile la fruizione a scopo educativo, culturale, ricreativo e altro ancora. Interpretare il suo patrimonio e renderlo fruibile da parte dei visitatori, specialmente esponendolo, è dunque parte integrante della sua ragion d'essere [6].

Un fattore che caratterizza gli ambienti espositivi è la presenza del pubblico (fig. 7.1). Nei musei di particolare interesse storico-artistico l'afflusso dei visitatori è intenso e in aumento, mentre in altri tipi di museo può essere scarso. La massa circolante di visitatori rappresenta un potenziale pericolo per gli oggetti esposti, in quanto l'apporto sia termico che igrometrico, legato alla respirazione e traspirazione del corpo umano e al tipo di abbigliamento, modifica i gradienti termici e igrometrici ambientali. L'afflusso del pubblico determina un aumento dell'umidità relativa dell'aria che dovrà essere tenuto in conto per il calcolo del valore dell'umidità relativa ambiente. Inoltre i visitatori rappresentano i vettori di aerospore che possono essere trasportate con i capelli, con la pelle e con gli abiti; la loro capacità di essere trasportate dipenderà anche dalle condizioni atmosferiche esterne prevalenti [1]. La composizione dell'aria all'interno di un ambiente museale corrisponderà comunque, in linea di massima, a quella dell'atmosfera ad esso circostante con un aspetto peggiorativo in più dovuto alla presenza dei visitatori [3].

La presenza di gruppi numerosi nelle sale del museo genera, come abbiamo detto, gas, particelle e calore che sono avvertiti in maniera misurabile dalle apparecchiature di monitoraggio dell'ambiente e modificano sensibilmente l'andamento dei parametri fondamentali come la temperatura e l'umidità relativa, oltre a contribuire in maniera rilevante all'aumento del deposito di polveri.



Fig 7.1 La presenza di pubblico ha un forte impatto sulla conservazione dei materiali, poiché modifica la composizione dell'aria degli ambienti.

Ogni individuo che entra nel museo produce mediamente:

- vapore acqueo (circa 50 - 100 g/ora)
- calore (circa 100 watt/ora)
- anidride carbonica (circa 50 ml/ora)

e rilascia polveri pari a 0,2 g/ora (figg. 7.2 a, b, c) composte da :

- microrganismi (attraverso la sudorazione, il parlare, lo starnutire)
- fibre legate agli indumenti
- frammenti organici (pelle e capelli) [2].

È importante, come prima e semplice regola, evitare sovraffollamenti di pubblico e regolare il tempo di permanenza dei visitatori nelle sale espositive.

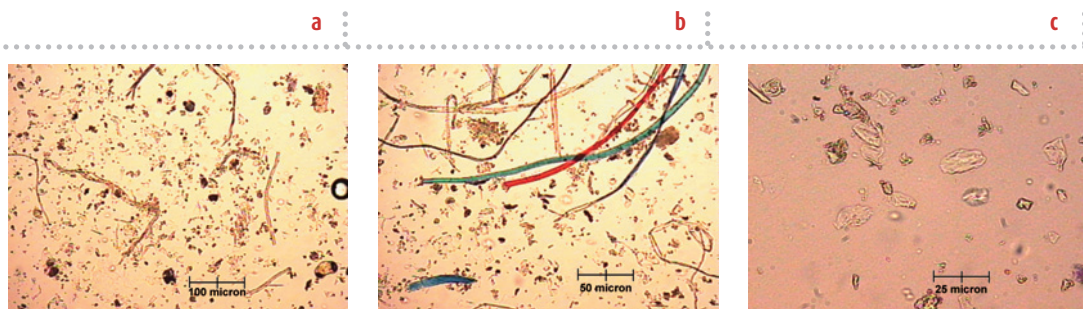


Fig 7.2 Fotografie al microscopio ottico di campioni di polvere sollevata durante una mostra:

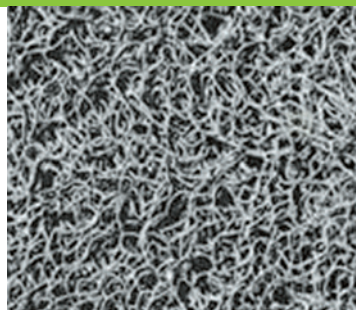
- a)** Deposito orizzontale - Particelle, fibre e materiale biologico
- b)** Deposito orizzontale - Fibre di tessuto
- c)** Deposito verticale - Materiale biologico (scaglie di epidermide).

Possibili soluzioni a questo fenomeno sono:

- far sostare il visitatore in locali antistanti le sale espositive, intrattenendolo con documentazione inerente la mostra, filmati didattici che spieghino particolari e dettagli sulle opere, visite virtuali alle collezioni, restauri e quant'altro.
- diluire le presenze nel tempo, contingentando gli ingressi in modo rigoroso e facendo sostare i visitatori per tempi limitati e definiti, sufficienti alla completa fruizione dell'opera/delle opere. È importante sapere che il flusso di visitatori nelle sale deve essere commisurato alle dimensioni delle stesse ed alle capacità dell'impianto di climatizzazione.
- utilizzare all'ingresso tappeti che trattengano le polveri che il visitatore porta con sé (sotto le scarpe soprattutto) (fig. 7.3).

Un ulteriore problema è legato alla presenza del personale di sorveglianza che, permanendo a lungo nelle sale espositive, richiede condizioni spesso in contrasto con quelle richieste per la buona

a)



b)



Fig 7.3

a) Tappeto che, grazie alla sua costruzione aperta, riesce a catturare, intrappolare e mascherare una consistente quantità di sporco. Utilizzo consigliato: come primo tappeto per la pulizia delle scarpe.

b) Tappeto in doppia fibra di polipropilene: quella più spessa raccoglie lo sporco, la fibra fine consente di assorbire l'acqua. Utilizzo consigliato: come secondo tappeto.

conservazione delle opere (tab. 7.1). Diventa quindi importante coniugare le esigenze di conservazione delle opere con il comfort del personale di servizio. Un suggerimento può essere quello di equipaggiare il personale con indumenti adatti al microclima invernale ed estivo del museo.

La normativa esistente non tratta in maniera esaustiva l'argomento: il DM 10 maggio 2001 nell'Ambito VII "Rapporti del Museo con il Pubblico e Relativi Servizi", affronta il problema dei servizi da garantire ai visitatori in termini di

- accesso agli spazi espositivi;
- consultazione della documentazione esistente presso il museo;
- fruizione delle attività scientifiche e culturali del museo;
- informazione per la miglior fruizione dei servizi stessi.

Tab 7.1

COMFORT E BENESSERE TERMICO [7]



TEMPERATURA	UMIDITÀ RELATIVA	SENSAZIONI PROVATE
24°C	40%	benessere massimo
	85%	benessere a riposo
	91%	affaticamento, depressione
32°C	25%	nessun malessere
	50%	impossibile il lavoro continuo
	65%	impossibile il lavoro pesante
	81%	aumento della temperatura corporea
	90%	forte malessere
36°C	10%	nessun malessere
	20%	impossibile il lavoro pesante
	65%	necessità di riposo
	80%	malessere

Approfondimento



COMFORT E BENESSERE TERMICO

Il comfort è definibile come la sensazione di benessere fisico e mentale o come la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda. In generale una persona si trova in stato di benessere quando non percepisce nessun tipo di sensazione fastidiosa ed è quindi in una condizione di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante.

Già dalla definizione è chiaro che il benessere è una quantità non misurabile analiticamente ma solo statisticamente perché dipende da troppe variabili di cui alcune strettamente soggettive e di natura psicologica. Le variabili sono:

- *il benessere termico e igrometrico;*
- *il benessere olfattivo (legato alla qualità dell'aria);*
- *il benessere visivo (relativo all'illuminazione);*
- *il benessere psicologico.*

Il comfort termico dipende da:

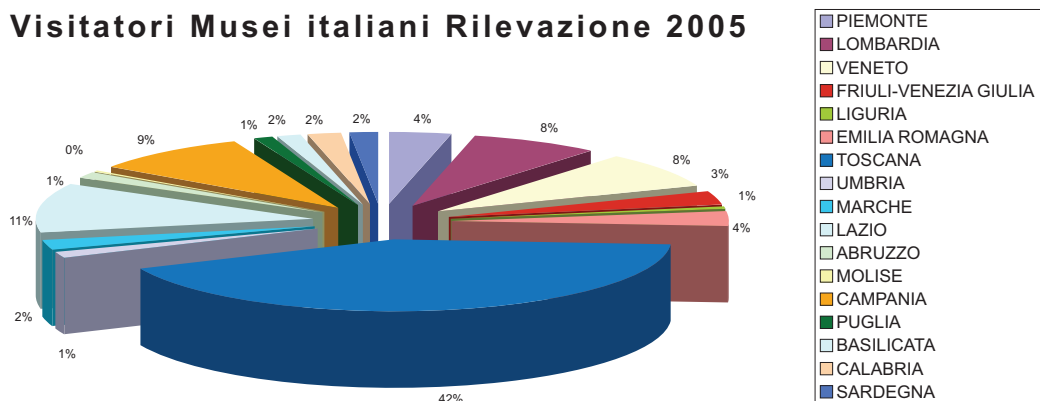
- parametri fisici: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria, pressione atmosferica;
- parametri esterni: attività svolta che influenza il metabolismo, abbigliamento;
- fattori organici: età, sesso, caratteristiche fisiche individuali;
- fattori psicologici e culturali.

In ambienti caldi o per attività intense il meccanismo di regolazione adottato è in primo luogo la dilatazione dei vasi sanguigni dell'epidermide con conseguente aumento del flusso di calore verso la pelle e aumento del calore superficiale. Quando la vasodilatazione è insufficiente si attiva la produzione di sudore che, evaporando, causa una ulteriore dissipazione di calore.

In ambienti freddi inversamente l'organismo economizza il calore riducendo l'afflusso di sangue verso la cute attraverso la vasocostrizione e quindi riducendo il calore disperso per convezione e irraggiamento. Quando la vasocostrizione risulta insufficiente sopraggiungono i brividi che incrementano il metabolismo muscolare e quindi la produzione di calore. I parametri principali che influenzano il benessere termico sono:

- temperatura dell'aria (fattore più importante);
- temperatura media radiante (quella che si percepisce per irraggiamento da corpo caldo o freddo);
- velocità dell'aria (produce effetti termici, aumentando la dissipazione del calore corporeo); le reazioni medie soggettive alle varie velocità sono le seguenti:
 - *fino a 0.25 m/s: impercettibile;*
 - *0.25-0.50 m/s: piacevole;*
 - *0.50-1.00 m/s: sensazione di aria in movimento;*
 - *1.00-1.50 m/s: corrente d'aria da lieve a fastidiosa;*
 - *oltre 1.50 m/s: fastidiosa.*
- umidità relativa (a basse temperature l'aria molto secca accresce la sensazione di freddo; ad alte temperature l'aria umida accentua la sensazione di caldo);
- attività (metabolismo = produzione di calore da parte del corpo);
- abbigliamento;
- fattori soggettivi.

Visitatori Musei italiani Rilevazione 2005



Solo nella norma UNI 10969 del 2002 “Linee guida per la scelta e il controllo del microclima” si definisce che “I parametri ambientali devono essere scelti tenendo conto prioritariamente delle esigenze degli oggetti conservati, non solo del benessere umano. Qualora si rilevassero condizioni di incompatibilità occorre provvedere adeguatamente, tenendo presente che per i beni culturali il processo di degrado è cumulativo, progressivo e irreversibile.”

Il numero dei visitatori nei musei italiani nel 2005 è stato di 10.186.000 (fonte MiBAC) (fig. 7.4). Bisogna però tenere presente che la maggior parte dei visitatori è concentrata su un ristretto numero di musei e città, come i Musei Vaticani a Roma (3.500.000) e la Galleria degli Uffizi a Firenze (1.500.000). Anche in realtà più piccole, come ad esempio la città di Ferrara (prima in Emilia-Romagna per numero di visitatori – fig. 7.5) vengono comunque realizzati eventi di rilievo nazionale che richiamano una grande affluenza di pubblico (Palazzo dei Diamanti ha un’attività di circa 200 giorni l’anno con 100.000 visitatori. La media giornaliera è di 500 persone. (Dati del Comune di Ferrara per l’anno 2004).

Fig 7.4

Visitatori nei Musei italiani nell’anno 2005. Dati MiBAC (Dipartimento per la Ricerca, l’Innovazione e l’Organizzazione, Direzione Generale per l’Innovazione Tecnologica e la Promozione, Ufficio di Statistica).

7.2 PULIZIA E MANUTENZIONE

Per la pulizia dei locali del museo è necessario eliminare i rifiuti lasciati dai visitatori e asportare la “polvere” prodotta per abrasione e sfregamento dei materiali. Pertanto si suggerisce di suddividere le operazioni in:

GIORNALIERE:

- 1 aerazione dei locali, spazzatura di tutti i pavimenti, dei corridoi, atri, uffici e scale;
- 2 svuotamento dei cestini e sostituzione del sacchetto igienico dei cestini presso tutti i locali;

Visitatori Musei Emilia-Romagna Rilevazione 2005

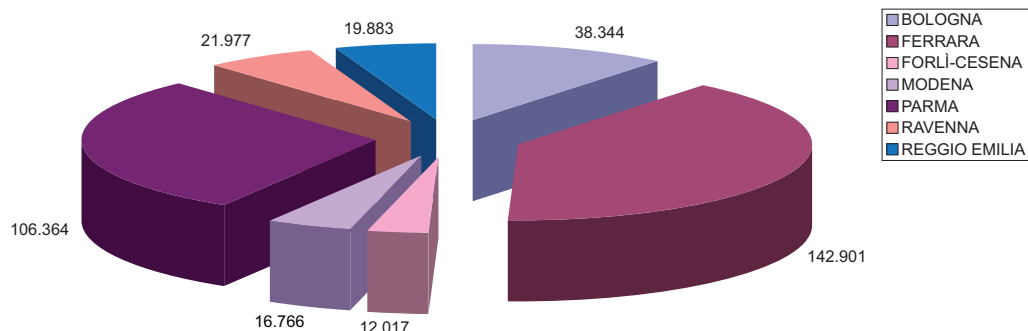


Fig 7.5

Visitatori nei Musei della Regione Emilia-Romagna nell'anno 2005. Dati MiBAC (Dipartimento per la Ricerca, l'Innovazione e l'Organizzazione, Direzione Generale per l'Innovazione Tecnologica e la Promozione, Ufficio di Statistica).

- 3 lavaggio, disinfezione e pulizia dei servizi igienici e di tutte le superfici lavabili presenti in detti locali;
- 4 eliminazione di impronte dalle porte a vetri e dalle bacheche; eliminazione di impronte dai materiali trattabili con panno umido;
- 5 spolveratura dei corrimani;
- 6 spazzatura della rampa d'ingresso esterna al museo;
- 7 **al bisogno**, spolveratura di tutti gli arredi ed attrezzature;
- 8 **al bisogno** pulizia della zona di ingresso al museo;
- 9 **al bisogno**, in caso di eventi naturali: tempestiva spazzatura della neve e/o eliminazione del ghiaccio sui marciapiedi antistanti gli ingressi e raccolta delle foglie decidue;
- 10 **al bisogno** pulizia della parte esterna antistante l'ingresso al Museo.

SETTIMANALI:

- 1 lavaggio delle scale e dei pavimenti di tutte le superfici.

MENSILI:

- 1 lavaggio a fondo delle pareti dei servizi igienici;
- 2 asporto ragnatele;
- 3 lavaggio e disinfezione con alcool dei telefoni;
- 4 spolveratura delle ringhiere e delle balaustre;
- 5 eliminazione macchie dagli interruttori e dalle porte;
- 6 lucidatura maniglie, maniglioni, pomi e targhe indicative interne ed esterne agli edifici;
- 7 rigeneratura trattamento del pavimento in cotto;
- 8 spolveratura battiscopa;
- 9 lavaggio dei vetri delle finestre e delle porte;
- 10 pulizia termosifoni e convettori;
- 11 pulizia e lucidatura porte.

SEMESTRALI:

- 1 spolveratura e lavaggio degli apparecchi di illuminazione;
- 2 lavaggio dei portoni, degli infissi, delle persiane;
- 3 trattamento completo del pavimento in cotto;
- 4 spolveratura con idoneo attrezzo antistatico delle opere con divieto di spostamento delle medesime dalla loro collocazione (da parte di personale competente).

Nell'esecuzione del servizio di pulizia presso i musei, l'appaltatore si deve impegnare in particolare ad evitare l'utilizzo di materiali, attrezzature e prodotti che in qualunque modo possano arrecare danno agli oggetti esposti.

L'appaltatore inoltre si deve impegnare, a non rimuovere gli oggetti esposti e ad adottare tutte le cautele necessarie ad evitare danni agli stessi.

Per quanto riguarda la pulizia dei pavimenti, va sottolineato che esistono vantaggi e svantaggi nei metodi abitualmente utilizzati:

- nell'uso dell'aspirapolvere la polvere viene rimossa dai pavimenti ma allo stesso tempo viene risospesa dai getti d'aria, anche se filtrati, che la macchina crea quando è in azione.
- il lavaggio dei pavimenti con acqua offre la garanzia che la polvere del pavimento non viene risollevata. Allo stesso tempo però contribuisce ad aumentare sensibilmente l'umidità relativa dei locali nei quali è stato effettuato il lavaggio.

Un'apparecchiatura che risolve entrambi i problemi sopra esposti è la lavasciuga, una macchina combinata automatica, a spinta o semovente, costituita da una parte lavante anteriore e da una parte asciugante posteriore, che pulisce i pavimenti sfruttando l'azione meccanica abrasiva di una o più spazzole rotanti e quella emulsionante di una soluzione acqua detergente.

Sintesi

IL SISTEMA MUSEO E LA PRESENZA UMANA

La gestione di un museo dal punto di vista del mantenimento dei parametri climatici e dei parametri di qualità dell'aria prestabiliti richiede un impegno costante e la collaborazione del personale. Non bisogna sottovalutare l'impatto della presenza umana nei musei, in termini di visitatori e operatori. Ogni persona infatti genera gas, particelle e calore, che vanno a perturbare l'ambiente-museo e quindi ad alterare le condizioni di conservazione delle opere. Per fare un esempio: in una mostra con una presenza media giornaliera di 500 visitatori, con permanenza media di 2 ore, ogni giorno, vengono prodotte nelle sale espositive le seguenti quantità di inquinamenti: 30 kg di vapor d'acqua, 100 kw di calore, 18 m³ di anidride carbonica e 200 g di polveri. Per contenere almeno parzialmente questi inquinanti, possono essere adottate diverse soluzioni: contingentamento delle presenze, utilizzo di tappeti antispurgo e antipolvere, pulizia periodica e accurata dei locali del museo, utilizzo di apparecchiature idonee per la pulizia. Il personale di sorveglianza a sua volta esige condizioni per il proprio benessere spesso in contrasto con quelle di conservazione delle opere. È importante coniugare le esigenze del personale e delle opere, ricordando però che la priorità deve essere data alla conservazione dei materiali, il cui degrado è cumulativo e irreversibile.

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

C A P I T O L O

8



Norme e linee guida



8.1 INTRODUZIONE

La conservazione preventiva intesa come coerente, coordinato e programmato piano di attività dirette ed indirette volte a rallentare gli effetti del degrado causati dal tempo e dall'uso sui materiali dei beni culturali, riveste un ruolo di fondamentale importanza in quanto:

- rallenta gli eventi di natura fisica, chimica e biologica che, nel tempo, possono alterare le caratteristiche superficiali e strutturali delle opere d'arte
- riduce il numero di interventi di restauro che modificano irreversibilmente l'opera originale
- rende più sostenibili i costi del restauro in quanto distribuiti nel tempo
- consente il monitoraggio costante dello stato dell'opera d'arte
- rappresenta una opportunità anche per il restauratore.

All'interno di questo piano di attività gioca un ruolo fondamentale il monitoraggio ambientale delle opere d'arte in relazione ai materiali che le costituiscono ed agli ambienti che le ospitano [4,6,43].

Esistono norme nazionali ed internazionali sulla conservazione delle opere d'arte, che hanno però carattere generale, suggeriscono l'esame del caso specifico e rimandano, quando disponibili, a lavori scientifici sull'argomento. Risultano essere norme a volte approssimative, redatte spesso da persone con cultura e formazione non scientifiche. La loro applicazione e rispetto sono resi complicati da questa confusione di leggi, standard, linee guida, disposizioni, a volte anche in contrasto tra loro. Alcune di queste norme derivano da norme compilate per altri settori esterni ai beni culturali e mostrano vistosi limiti, sia di comprensione per l'utente, sia di conoscenza di base del tema trattato, sia di applicabilità. Di conseguenza, la corretta conservazione non può essere attuata semplicemente rispettando i valori o gli intervalli ottimali "consigliati" [3,19,20,21]. La scelta delle procedure di conservazione preventiva richiede una competenza multidisciplinare che normalmente viene raggiunta attraverso corsi di formazione di livello universitario. Attualmente però le scelte relative alla conservazione preventiva sono appannaggio del personale del settore dei beni culturali, a cui possono accedere prevalentemente persone aventi una formazione storico-artistica e assai raramente scientifica; è quindi necessario che i corsi di formazione prevedano una prioritaria componente scientifica.

Data l'insufficiente disponibilità di personale specializzato, spesso risulta arduo per il museo reperire e dedicare risorse proprie alla conservazione preventiva. In ogni caso, è fondamentale che il responsabile del museo prenda coscienza dell'importanza della conservazione preventiva attraverso corsi di formazione avanzata e ne trasferisca i concetti al personale addetto, mediante corsi di formazione di base. L'attuazione della pratica di conservazione preventiva richiede infatti il coinvolgimento del personale addetto, che deve essere istruito su principi e procedure comprensibili e semplici [51].

Le personalità di riferimento nell'elaborazione del concetto di "conservazione preventiva", così come si è andato delineando e definendo fino ai giorni nostri, sono Cesare Brandi e Giovanni Urbani, entrambi direttori dell'Istituto Centrale del Restauro (ICR). Cesare Brandi è stato uno dei massimi teorici ed esperti dell'arte di fare restauro, il primo forse che nel secolo scorso abbia colto la centralità ed il nuovo significato delle attività di recupero e conservazione delle opere d'arte. Fondatore nel 1939, in collaborazione con Giulio Carlo Argan, dell'Istituto Centrale del Restauro, ne diviene direttore, dalla fondazione fino al 1959. Brandi affronta temi che pongono il suo pensiero all'avanguardia nel panorama internazionale: l'attenzione all'opera d'arte deve tenere conto della storicità dell'opera ('istanza storica') e della sua valenza estetica ('istanza estetica'). Da questa affermazione deriva la prima definizione di restauro inteso come "momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte, nella sua consistenza fisica e nella sua duplice polarità estetica e storica" [5].

Con la direzione di Giovanni Urbani (1973-1983), l'ICR si orienta maggiormente verso la conservazione preventiva. Questo nuovo indirizzo è ben delineato nel volume *Problemi di Conservazione*, curato e pubblicato da Urbani nel 1973, dove, sollecitando la riorganizzazione della ricerca scientifica nel settore della tutela, dedica una vasta sezione a metodi ancora in via di sperimentazione applicati allo studio delle interazioni tra materiali e contesto ambientale [47,48].

Nella medesima direzione procede l'elaborazione nel 1975 del Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Il progetto consiste nell'analisi e nella programmazione di un quadro organico di ricerche, mediante cui ci si propone di elaborare, in un tempo prefissato di ventiquattro mesi, uno studio di piano avente come obiettivi principali la valutazione degli effetti di alcuni fattori di deterioramento (geologici, sismici, meteorologici, inquinamento atmosferico, spopolamento) sullo stato di conservazione dei beni culturali dell'Umbria; la definizione delle

varie tecniche di rilevamento e intervento, e dei relativi programmi operativi, mediante cui assicurare la conservazione dei beni predetti. Purtroppo però nessuna di queste azioni intraprese da Urbani ebbe un seguito.

In continuità con la linea di ricerca che nasce dall'idea di restauro preventivo di Cesare Brandi e si sviluppa attraverso le elaborazioni di Giovanni Urbani sulla manutenzione programmata, nasce in ambito ICR il progetto della "Carta del Rischio" del patrimonio culturale. L'idea forza che sta alla base della "Carta del Rischio" è quella di individuare sistemi e procedimenti che consentano di programmare gli interventi di manutenzione e restauro sui beni culturali architettonici, archeologici e storico-artistici in funzione del loro stato di conservazione e dell'aggressività dell'ambiente in cui sorgono. Al termine della realizzazione di questo progetto saranno disponibili, per il Ministero e per le Soprintendenze, nuovi strumenti di conoscenza e nuove procedure di analisi (banca dati informatizzata) per facilitare la sorveglianza e il monitoraggio dello stato di conservazione del patrimonio culturale con l'obiettivo di indirizzare e ottimizzare gli interventi di conservazione.

8.2 NORME E LEGGI IN ITALIA

8.2.1 Leggi

L'introduzione del concetto di "standard" in ambito museale in Italia avviene grazie al D. Lgs. 112/98, che prevede che "Con proprio decreto il Ministro per i Beni Culturali e Ambientali definisca i criteri tecnico-scientifici e gli standard minimi da osservare nell'esercizio delle attività trasferite, in modo da garantire un adeguato livello di fruizione collettiva dei beni, la sicurezza e la prevenzione dei rischi" (art. 150, comma 6). Da qui segue l'elaborazione del D.M. 10 maggio 2001 *"Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei"*, redatto da un gruppo tecnico di lavoro composto da rappresentanti del Ministero per i Beni e le Attività culturali, delle Regioni, dell'ANCI (Associazione Nazionale dei Comuni d'Italia) e dell'UPI (Unione delle Province d'Italia) [26].

L'Atto di indirizzo identifica le otto attività, denominate ambiti, di ogni museo (status giuridico, assetto finanziario, strutture del museo, personale, sicurezza del museo, gestione e cura delle collezioni, rapporti del museo con il pubblico e relativi servizi, rapporti con il territorio), fornendo schede tecniche che evidenziano quali requisiti

ti minimi rispettare per garantire un buon servizio. Per quanto concerne la conservazione preventiva e il monitoraggio ambientale, l'Ambito VI, "Gestione e cura delle collezioni" individua come prioritaria la gestione e cura delle collezioni in quanto rappresentano l'elemento costitutivo e la ragion d'essere di ogni museo. Si raccomanda di osservare precisi criteri di conservazione preventiva, attraverso il monitoraggio delle condizioni ambientali, al fine di garantire la sicurezza delle opere. Viene fornito un elenco dettagliato di parametri fisici, chimici e biologici da monitorare e si suggeriscono valori di riferimento per assicurare le condizioni ottimali di conservazione dei manufatti. Se da un lato questo documento costituisce il primo atto ufficiale che valorizza tutte le funzioni attribuite al museo ed affronta in maniera dettagliata anche le azioni di conservazione preventiva e monitoraggio ambientale, dall'altro lato presenta notevoli limiti: il documento presenta squilibri strutturali, alcune parti sono più sviluppate, altre meno. Questo è dovuto soprattutto al fatto che l'Atto di indirizzo è il risultato di un lavoro "a più mani", un incontro di culture diverse [14,15]. Un altro merito dell'Atto di indirizzo è che, sulla base delle disposizioni contenute in esso, diverse Regioni, come Emilia-Romagna, Liguria, Lazio, Lombardia, Marche e Toscana, negli ultimi anni stanno lavorando per definire i requisiti di accessibilità ai sistemi museali regionali e ai contributi finanziari in materia di musei.

La *Regione Emilia-Romagna* con la Delibera della Giunta regionale, 3 marzo 2003, n. 309 "Approvazione standard e obiettivi di qualità per biblioteche, archivi storici e musei ai sensi dell'art. 10 della L.R. 18/00 'Norme in materia di biblioteche, archivi storici, musei e beni culturali' ", affida a "...IBACN (Istituto per i Beni Artistici, Culturali e Naturali)...il rispetto e la progressiva applicazione degli standard di cui al precedente punto 1) da parte degli Enti locali e degli altri soggetti convenzionati, gestori degli istituti culturali". Il rispetto degli standard è inoltre "condizione per la concessione dei contributi". Una delle azioni concrete intraprese dall'IBACN per attuare l'applicazione degli standard è il Progetto MUSA, nato nel 2002 in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bologna, con l'obiettivo di creare una rete regionale intermuseale, tuttora attiva ed in continua espansione, che si occupa di monitoraggio microclimatico gestito a distanza da un Centro di Elaborazione Dati situato al CNR (per maggiori dettagli: www.isac.cnr.it/musa).

La *Regione Lazio*, con il "Piano Settoriale Regionale 2002-2004 in materia di beni e servizi culturali, L.R. 42/97" (D.C.R. 109/2002) attribuisce, attraverso Decreto del Presidente della Giunta Regionale, il riconoscimento del marchio di qualità a quei Musei

che ne abbiano fatto richiesta e che costituiscono dei punti di eccellenza nell'Organizzazione Museale Regionale. I requisiti minimi per l'accesso dei musei nell'Organizzazione Museale Regionale concernono personale, orario, sede, regolamento, patrimonio.

Lo strumento di programmazione adottato invece dalla *Regione Liguria* è costituito dal Programma Pluriennale 2001-2003 per i musei di enti locali o di interesse locale e per la catalogazione dei beni culturali e ambientali ai sensi della legge regionale 22 aprile 1980 n. 21 (Deliberazione del Consiglio Regionale 9 Ottobre 2001 N. 52 per i musei di enti locali o di interesse locale e per la catalogazione dei beni culturali e ambientali ai sensi della legge regionale 22 aprile 1980 n. 21). Tra gli obiettivi del Programma Pluriennale ricordiamo quelli di assicurare la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio culturale ligure; promuovere campagne di catalogazione; organizzare i musei locali rendendoli idonei alla conservazione e gestione dei beni culturali; divulgare e valorizzare i musei in rapporto con l'intero territorio mediante varie iniziative; integrare i musei con il territorio di riferimento; migliorare i servizi museali e soprattutto verificare le forme di prevenzione, da attuarsi non in modo generico ma attraverso metodiche e indagini specifiche per le varie tipologie di beni; tra le attività del museo infatti compare quella di "Monitoraggio e prevenzione", attraverso la manutenzione programmata e la conservazione preventiva.

La *Regione Lombardia* ha strutturato un processo di miglioramento della qualità dei servizi a partire dal riconoscimento dei musei e della raccolte museali di enti locali e di interesse locale sul proprio territorio, basato sulla verifica della presenza dei requisiti minimi individuati sulla base dell'Atto di indirizzo, con l'obiettivo di potenziare progressivamente le attività di conservazione, ricerca, valorizzazione e promozione che questi istituti svolgono. La prima fase del processo ha visto la diffusione di un questionario di autovalutazione, attraverso il quale i musei sono stati chiamati ad analizzare la propria situazione a partire dai requisiti minimi precedentemente individuati, portando così alla luce punti di forza e punti di debolezza. Nella seconda fase si sono esaminate le richieste di riconoscimento, portando alla stesura del "Primo riconoscimento dei musei e delle raccolte museali, di cui alla d.g.r. del 20/12/2002, n. 11643 "Criteri e linee guida per il riconoscimento dei musei e delle raccolte museali in Lombardia, nonché linee guida sui profili professionali degli operatori dei musei e delle raccolte museali in Lombardia, ai sensi della L.R. 5 gennaio 2002, n. 1, commi 130-131". In particolare nelle "Questioni evidenziate dal

processo di riconoscimento e indirizzi regionali” a pag. 6 si legge: “La conservazione programmata dei beni e le strumentazioni di controllo microclimatico. Per quanto riguarda la conservazione (requisito minimo 5), l’autovalutazione dei musei ha evidenziato carenze relative all’implementazione nei depositi e nelle sale espositive di moderne strumentazioni di controllo microclimatico; è quindi opportuno che il co-finanziamento regionale venga indirizzato nei prossimi anni al superamento di tale situazione, anche attraverso specifiche finalizzazioni di sostegno. In attuazione di quanto previsto dall’art. 29 Conservazione del Codice, è opportuno che in ogni istituto museale vengano sviluppate attività continuative di conservazione programmata, anche attraverso la condivisione di professionalità e la realizzazione di iniziative di gestione associata”.

Nella *Regione Marche* si è proceduto alla lettura della realtà museale attraverso una “Analisi dell’applicazione degli standard di qualità nei musei delle Marche sulla base dell’indagine ISTAT (2001)”. Grazie a questa analisi, è stato possibile redigere da parte della Regione indirizzi certi e mirati cui convogliare le azioni e i finanziamenti per il museo diffuso da parte delle Amministrazioni provinciali (L.R. 75/97). Al punto: “Standard n. 6 - Gestione delle collezioni” si legge: “Conservazione: Dall’indagine ISTAT emerge un dato da leggere attentamente, in teoria confortante, sull’illuminazione dei musei: 213 musei su 216 ritengono di avere un’illuminazione adeguata. È possibile infatti che questo dato non corrisponda a una cognizione esatta delle esigenze illuminotecniche che ogni struttura museale richiede (ben diverse dall’illuminazione vera e propria) e quindi dal reale stato dell’illuminazione delle strutture museali. Anche il dato del controllo termico non risulta ottimale: solo 46 musei lo praticano; basso anche il dato sul controllo igrometrico, relativo a 28 musei su 216”.

La *Regione Toscana* ha deciso quattro linee di azione per sostenere l’applicazione del DM 10 maggio 2001, contenute nelle “Indicazioni operative per l’adeguamento dei musei e delle raccolte di ente locale e di interesse locale agli standard di funzionamento e sviluppo di cui al D. M. 10 Maggio 2001” (Delibera Regione Toscana n. 1021/2004): la prima azione è quella di una ricognizione sullo stato dei musei toscani rispetto agli standard e all’applicazione dell’Atto di indirizzo. In secondo luogo l’obiettivo è quello di promuovere una cultura degli standard, come condizione permanente di autocontrollo del proprio operare e di chiarezza degli obiettivi da raggiungere progressivamente. A questo scopo sono previsti corsi di formazione, incontri di informazione e

visite sul campo come occasioni di scambio di esperienze tra musei. Come terza azione la Regione Toscana ha approvato (con deliberazione della Giunta regionale dell'11 ottobre 2004, n. 1021 integrata con deliberazione della Giunta regionale del 2 novembre 2004, n. 1093) un documento di raccomandazioni come guida all'applicazione degli standard in base a criteri di priorità. Il documento è stato elaborato insieme ai responsabili dei musei. Nel capitolo dedicato alle strutture del Museo, nei parametri per l'accertamento dell'adeguatezza dell'edificio e delle strutture si cita "presenza di condizioni microclimatiche idonee in relazione alle tipologie del patrimonio" ed ancora "sistema di schermatura della luce naturale e sistema di luce artificiale in relazione alle tipologie del patrimonio". Infine la Regione Toscana potrà sostenere, anche economicamente, progetti di adeguamento agli standard in base a una scala di priorità desunte dalla ricognizione.

Per concludere questa panoramica sulle azioni e leggi regionali, si può affermare che da questo progressivo adeguamento agli standard museali operato dalle Regioni negli ultimi anni, è emerso in più casi (Lombardia e Marche) che nei musei vi è una effettiva carenza o mancanza di quelle azioni di conservazione preventiva che dovrebbero essere parte integrante della gestione e cura delle collezioni. Per quanto concerne il monitoraggio microclimatico, ad esempio, nelle Marche solo il 13% dei musei effettua un controllo igrometrico e il 20% un controllo termico, per altro con risultati non accettabili.

In ogni caso, la recente attività delle Regioni appare rivolta all'elaborazione di una via italiana agli standard museali, che tenga conto della realtà storica dei musei del nostro paese, del quadro istituzionale e delle significative differenze territoriali esistenti.

Con il recente decreto legislativo n. 42 del 22 Gennaio 2004, il Governo ha varato il nuovo *Codice per i Beni Culturali e Paesaggistici*, che fornisce uno strumento per difendere e promuovere il patrimonio culturale, anche attraverso il coinvolgimento degli Enti Locali. Il Codice dei Beni Culturali sostituisce il "Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali" (Decreto Legislativo 29 ottobre 1999, n. 490). Il Codice suddivide il "patrimonio culturale nazionale" in due tipologie di beni culturali: i beni culturali in senso stretto e i beni paesaggistici. In esso, viene messa in evidenza la necessità del restauro preventivo, inteso come l'insieme di tutte le azioni mirate a garantire la conservazione del bene culturale, soprattutto in riferimento alla pericolosità del territorio sul quale il bene si trova. In particolare nella Sezione II: Misure di conservazione, Articolo 29, si legge:

“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.”

8.2.2 Norme tecniche

Esistono diversi organismi di unificazione, nazionali ed internazionali, che emanano standard e norme tecniche su diversi settori. I principali enti normatori in Italia sono il CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) per il settore della Elettrotecnica e l'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) per diversi settori industriali, commerciali e del terziario, mentre in ambito europeo troviamo il CEN (Comité Européen de Normalisation) e in ambito internazionale l'ISO (International Organization for Standardization). L'UNI ha come compiti principali quelli di elaborare norme che vengono sviluppate da organi tecnici ai cui lavori partecipano tutte le parti interessate assicurando, in tal modo, il carattere di trasparenza e condivisione; rappresentare l'Italia nelle attività di normazione a livello mondiale (ISO) ed europeo (CEN) per promuovere l'armonizzazione delle norme e agevolare gli scambi di prodotti e servizi; pubblicare e diffondere le norme tecniche. UNI rappresenta il punto di incontro fra mondi diversi, come imprese, professionisti, università, Pubblica Amministrazione, consumatori. Anche nel settore dei beni culturali ha pubblicato diverse norme tecniche che, pur avendo il merito di dare risposte pratiche a problematiche legate alla misurazione dei parametri ambientali rispetto ai materiali conservati, presentano anche il limite di fissare “valori consigliati” che poco si adattano alla specificità di ogni opera d'arte e dell'ambiente in cui si trova.

Norme UNI riguardanti i beni culturali:

- **UNI 10586:1997**

Documentazione - Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti

- **UNI 10739:1998**

Beni culturali - Tecnologia ceramica - Termini e definizioni

- **UNI 10813:1999**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Verifica della presenza di microrganismi fotosintetici su materiali lapidei mediante determinazione spettrofotometrica UV/Vis delle clorofille a, b e c
- **UNI 10829:1999**
Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi
- **UNI 10859:2000**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità
- **UNI 10921:2001**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Prodotti idrorepellenti - Applicazione su provini e determinazione in laboratorio delle loro caratteristiche
- **UNI 10922:2001**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di sezioni sottili e sezioni lucide di materiali lapidei colonizzati da biodeteriogeni
- **UNI 10923:2001**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di preparati biologici per l'osservazione al microscopio ottico
- **UNI 10924:2001**
Beni culturali - Malte per elementi costruttivi e decorativi - Classificazione e terminologia
- **UNI 10925:2001**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'irraggiamento con luce solare artificiale
- **UNI 10945:2001**
Beni culturali - Caratterizzazione degli strati pittorici - Generalità sulle tecniche analitiche impiegate
- **UNI 10969:2002**
Beni culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni
- **UNI 11060:2003**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti
- **UNI 11084:2003**
Beni culturali - Materiali ceramici - Caratterizzazione
- **UNI 11085:2003**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale
- **UNI 11086:2003**
Beni culturali - materiali lapidei naturali ed artificiali - determinazione del contenuto d'acqua di equilibrio
- **UNI 11087:2003**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto di sali solubili
- **UNI 11088:2003**
Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Caratterizzazione chimica di una malta - Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili
- **UNI 11089:2003**
Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte
- **UNI 11118:2004**
Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose
- **UNI 11119:2004**
Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera

- **UNI 11120:2004**
Beni culturali - Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti
- **UNI 11121:2004**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione in campo del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio
- **UNI 11130:2004**
Beni culturali - Manufatti lignei - Terminologia del degradamento del legno
- **UNI 11131:2005**
Beni culturali - Misurazione in campo dell'umidità dell'aria
- **UNI 11138:2004**
Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi
- **UNI 11139:2004**
Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesio libera
- **UNI 11140:2004**
Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica
- **UNI 11141:2004**
Beni culturali - Manufatti lignei - Linee guida per la datazione dendrocronologica del legno
- **UNI 11161:2005**
Beni culturali - Manufatti lignei - Linee guida per la conservazione, il restauro e la manutenzione
- **UNI 11162:2005**
Beni culturali - Manufatti lignei - Supporti dei dipinti su tavola - Terminologia delle parti componenti
- **UNI 11176:2006**
Beni culturali - Descrizione petrografica di una malta
- **UNI 11177:2006**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN ISO 12571 - Prestazione igrotermica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione delle proprietà di assorbimento igroscopico
- **UNI 11182:2006**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni
- **UNI 11187:2006**
Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Pulitura con tecnologia laser
- **UNI 11189:2006**
Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Metodi di prova per la caratterizzazione chimica di una malta - Analisi chimica.

Di seguito si elencano più in dettaglio le principali norme UNI che trattano nello specifico il monitoraggio ambientale, metodi di misurazione ed analisi e valori di riferimento per la conservazione:

- UNI 10586, 1997 "Documentazione - Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti"

La norma definisce i parametri microclimatici ambientali per la conservazione di documenti grafici, con particolare riferimento ai materiali cartaceo e membranaceo in edifici di nuova costruzione o preesistenti.

- **UNI 10829, 1999 “Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi” [44]**

Prescrive una metodologia per la misurazione in campo delle grandezze ambientali termoigrometriche e di illuminazione ai fini della conservazione di beni di interesse storico e artistico e fornisce indicazioni relative alle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati per una loro valutazione finalizzata al contenimento dei processi di degrado.

Il testo preparatorio alla stesura della norma UNI 10829 deriva dal settore della termotecnica a cura del Comitato Termotecnico Italiano (“Climatizzazione dei musei”, La Termotecnica, Aprile 1994, pp 43-50).

- **UNI 10969, 2002 “Beni culturali. Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni” [45]**

La norma fornisce linee guida per la scelta e controllo del microclima in musei, gallerie, archivi, ecc., ai fini della conservazione dei beni culturali.

- **UNI 11120, 2004 “Beni culturali. Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti”**
Rappresenta una guida per la misurazione della temperatura dell'aria e della superficie di oggetti che fanno parte del patrimonio culturale, sia che si trovino all'aperto sia che si trovino all'interno. La norma stabilisce indicazioni che assicurino allo stesso tempo un'elevata qualità della misura e il massimo rispetto dell'integrità delle opere.

- **UNI 11131, 2005 “Beni culturali - Misurazione in campo dell'umidità dell'aria”**

La norma indica i parametri fisici e gli strumenti idonei alla misurazione dell'umidità nell'aria ai fini della conservazione del Patrimonio Culturale. La norma stabilisce indicazioni per effettuare misure accurate dell'ambiente microclimatico e per studiare le interazioni fra aria e oggetti.

- **UNI 11161, 2005 “Beni culturali. Manufatti lignei. Linee guida per la conservazione, il restauro e la manutenzione”**

La norma stabilisce i requisiti da considerare per ogni attività di conservazione, restauro, manutenzione su manufatti lignei appartenenti al patrimonio dei beni culturali.

Ricordiamo infine la Commissione NOR.MA.L., nata nel 1977 su iniziativa del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e dell'ICR. La Commissione, articolata in gruppi di lavoro, ha definito metodologie unificate per lo studio dei materiali costituenti i manufatti; per lo studio delle alterazioni dei materiali (in principio solo lapidei ed in seguito anche dipinti murali, metalli, vetri e ceramiche) e per il controllo dell'efficacia dei trattamenti conservativi dei manufatti di interesse storico-artistico (tab. 8.1). Tra i documenti NorMal emanati, che riguardano nello specifico il monitoraggio ambientale, ricordiamo i seguenti: Normal 5/81, 5/82, 5/83, 5/86, 5/87 sulla "Misura dei Parametri Ambientali" e Normal 39/93 sul "Rilevamento della Carica Microbica dell'Aria". I documenti in corso di revisione possono essere richiesti direttamente a ICR.

Tab 8.1

DOCUMENTI NOR.MA.L. PUBBLICATI DA UNI.



NUM	TITOLO DELLA NORMA
1/80	Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapidei: Lessico
1/88	Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapidei: Lessico
3/80	Materiali Lapidei: Campionamento. (Ristampa 1988)
4/80	Distribuzione del Volume dei Pori in Funzione del loro Diametro
5/81	Misura dei Parametri Ambientali
5/82	Misura dei Parametri Ambientali
5/83	Misura dei Parametri Ambientali
5/86	Misura dei Parametri Ambientali
5/87	Misura dei Parametri Ambientali
6/81	Caratterizzazione di Materiali Litici di Cava: Schema di Scheda
7/81	Assorbimento d'Acqua per Immersione Totale - Capacità di Imbibizione
8/81	Esame delle Caratteristiche Morfologiche al Microscopio Elettronico a Scansione (SEM)
9/82	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Isolamento in Coltura
9/88	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Isolamento in Coltura
10/82	Descrizione Petrografica dei Materiali Lapidei Naturali
11/82	Assorbimento d'Acqua per Capillarità - Coefficiente di Assorbimento Capillare
11/85	Assorbimento d'Acqua per Capillarità - Coefficiente di Assorbimento Capillare. Sostituita da UNI 10859
12/83	Aggregati Artificiali di Clasti e Matrice Legante non Argillosa: Schema di Descrizione
13/83	Dosaggio dei Sali Solubili. Sostituita da UNI 11087
14/83	Sezioni Sottili e Lucide di Materiali Lapidei: Tecnica di Allestimento
15/84	Manufatti e Aggregati a Matrice Argillosa: Schema di Descrizione. Sostituita da UNI 11084
16/84	Caratterizzazione di Materiali Lapidei in Opera e del loro Stato di Conservazione: Sequenza Analitica

NUM	TITOLO DELLA NORMA
17/84	Elementi Metrologici e Caratteristiche Dimensionali: Determinazione Grafica
18/84	Rilevamento della Funzionalità degli Impianti Tecnici: Schema di Scheda
19/85	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Indagine Visiva Sostituita da UNI 10923
20/85	Interventi Conservativi: Progettazione, Esecuzione e Valutazione Preventiva. (Ristampa 1996)
21/85	Permeabilità al Vapor d'Acqua
22/86	Misura della Velocità di Propagazione del Suono
23/86	Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte
23/87	Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte Sostituita da UNI 10924
24/86	Metodologia di Rilevamento e di Analisi della Vegetazione
25/87	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Isolamento e di Mantenimento in Coltura Pura
26/87	Caratterizzazione delle Malte da Restauro
27/88	Caratterizzazione di una: Malta
28/88	Composizione Chimica dei Materiali Lapidei
29/88	Misura dell'Indice di Asciugamento (Drying Index)
30/89	Metodi di Controllo del Biodeterioramento
31/89	Determinazione della Calce e della Magnesite Residue
32/89	Determinazione Gas-Volumetrica della CO ₂
33/89	Misura dell'Angolo di Contatto
34/91	Analisi di Materiali "Argillosi" mediante XR
35/91	Caratterizzazione di Biocidi: Schema di Scheda
36/92	Glossario per l'Edilizia Storica nei Trattati dal XV al XIX Secolo
37/92	Trattamenti Biocidi: Schema di Scheda per Archiviazione Dati
38/93	Valutazione Sperimentale dell'Efficacia dei Biocidi
39/93	Rilevamento della Carica Microbica dell'Aria
40/93	Misura Ponderale di Umidità in Murature. Sostituita da UNI 11085
41/93	Misura Ponderale di Umidità in Superfici Murarie Dipinte. Sostituita da UNI 11085
42/93	Criteri Generali per l'applicazione delle PnD
43/93	Misure colorimetriche di superfici opache
44/93	Assorbimento d'Acqua a Bassa Pressione

Nel 1996 viene stipulata una convenzione fra il Ministero per i Beni Culturali e Ambientali e l'UNI, "particolarmente sensibile ai problemi di normazione nel settore dei beni culturali", in seguito a ciò viene attivata presso l'UNI (per il settore della conservazione

del patrimonio storico-artistico nazionale) della attuale Commissione “Beni Culturali UNI/Nor.Ma.L.”, con il trasferimento delle acquisizioni tecnologiche italiane in ambito europeo (CEN) ed internazionale (ISO) e la qualificazione delle “Raccomandazioni” sotto il profilo di vere e proprie norme tecniche.

In ambito europeo infine è stato istituito il gruppo di lavoro CEN/TC 346/WG4 “*Environment*”, che sta lavorando su diversi documenti relativi ai principi generali per il controllo del microclima all'interno delle chiese e alle specifiche che riguardano la misurazione della temperatura dell'aria e della superficie dei beni culturali.

8.3 NORME E LINEE GUIDA INTERNAZIONALI

8.3.1 Linee guida

Nel panorama internazionale non esistono vere e proprie leggi a cui riferirsi nella definizione di standard di qualità per i musei, ma diverse istituzioni ed enti pubblici o privati si sono organizzati attraverso il sistema dell’“accreditation”, come quello promosso dall’**American Association of Museums (AAM)**. Si tratta di un programma di certificazione di qualità che certifica che “l’istituzione opera a tutti i livelli secondo i più elevati e attuali standard e pratiche professionali e adempie ai suoi doveri nei confronti del pubblico così come è previsto dalla sua missione”.

Dal 1971 ad oggi sono stati accreditati centinaia di musei americani di varie tipologie e dimensioni che attirano visitatori, prestiti, mostre temporanee, grazie anche alla accresciuta credibilità data dall’accreditation. L’accreditation consiste in un’autovalutazione della durata di un anno, seguita da un esame da parte di una apposita commissione. Per partecipare ed ottenere l’accredimento, il museo deve possedere alcuni requisiti [16]. L’AAM è uno dei 116 Comitati Nazionali che costituiscono le unità fondamentali dell’**ICOM (International Council of Museums)** e i principali strumenti di comunicazione fra i suoi soci in tutto il mondo. Il compito del Comitato Nazionale è quello di curare gli interessi dell’ICOM, rappresentare i suoi soci e contribuire alla realizzazione dei programmi dell’ICOM. Nel codice deontologico dell’ICOM, adottato nel 1986, compare il concetto di “standard minimi per i musei” e in particolare si legge che “in alcuni paesi,

gli standard minimi relativi alle finanze del museo, ai locali, al personale e ai servizi sono definiti per legge o con altro atto governativo. In altri paesi, i criteri di indirizzo e la valutazione degli standard minimi sono dati sotto forma di “accreditamento”, “registrazione” o di analogo schema valutativo. Qualora non esistano definizioni di tali standard a livello locale, si possono ottenere direttive dal Comitato nazionale, dal Comitato internazionale competente in materia o dalla Segreteria dell'ICOM.” Per quanto concerne in dettaglio la gestione e cura delle collezioni, si stabilisce che “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” [13].

Anche in **Gran Bretagna**, **The Museums, Libraries and Archives Council (MLA)** ha promosso il “Museum Registration Scheme”, adottato dalla Museums & Galleries Commission nel 1988 e rinominato nel 2004 in “Accreditation”. All'interno degli “Accreditation Standards” vengono fissate le azioni per ridurre il rischio di danno sulle opere. Per quanto concerne il controllo del microclima, si afferma la necessità di attuare un monitoraggio ambientale per avvertire lo staff su condizioni ambientali potenzialmente pericolose, attraverso la misura di umidità relativa, temperatura e livelli di illuminamento, utilizzando strumentazione semplice o sofisticata.

The Museums & Galleries Commission ha inoltre pubblicato diversi rapporti contenenti standard destinati alle diverse tipologie di collezioni: archeologiche, biologiche, tessili, geologiche, strumenti musicali, fotografie ecc. [42].

In Francia la **Direction de Musées de France**, con sede a Parigi, ha pubblicato “Museofiches” (1993-1999) dove vengono date indicazioni su tutte le misure da valutare per ottenere un microclima adatto alla conservazione: umidità relativa e temperatura; attrezzature museografiche; sicurezza [8].

Generalmente all'estero si assiste al nascere di standard, linee guida, studi e pubblicazioni sul tema della conservazione da parte di diverse istituzioni, pubbliche e private. È questo il caso del **Northeast Document Conservation Center (NEDCC)**, un centro di conservazione no-profit negli Stati Uniti che si occupa di migliorare i programmi di prevenzione di biblioteche, archivi e musei e incrementare la qualità dei servizi in queste istitu-

zioni. I “pieghevoli” messi a disposizione sul sito web, danno indicazioni su strategie di conservazione preventiva, sui parametri microclimatici e di illuminamento, sulle procedure in caso di emergenza fino alla manipolazione e imballaggio degli oggetti [33].

Anche il **Getty Conservation Institute (GCI)** del **Paul Getty Museum** è impegnato a livello internazionale nel campo della conservazione attraverso ricerche scientifiche, progetti in campo, formazione e diffusione delle informazioni.

Di notevole interesse inoltre sono i manuali chiamati “**re-Collections: Caring for Collections Across Australia**”, elaborati dall’Heritage Collections Council ad uso principalmente dei non-conservatori che lavorano nei beni culturali australiani [11].

Nei documenti si fa riferimento all’**Australian Institute for the Conservation of Cultural Material (AICCM)**, una organizzazione nazionale per conservatori e persone interessate alla conservazione dei beni culturali nato nel 1973. In questi manuali vengono affrontati temi quali il controllo della luce, della temperatura, della umidità relativa, dell’attacco biologico, dell’inquinamento, come pratiche fondamentali per prevenire il danno ed il degrado dei materiali.

Il **National Preservation Office (NPO)**, sostenuto dalla British Library, ha pubblicato nel 2003 “Basic Preservation Guidelines for Library and Archive Collections”, linee guida sulla conservazione preventiva delle opere conservate in biblioteche, archivi e musei nel Regno Unito e in Irlanda [31].

Un altro importante organismo inglese preposto alla conservazione è lo **United Kingdom Institute for Conservation (U.K.I.C.)**, che ha pubblicato nel 1984 “Environmental Standards for the Permanent Storage of Excavated Material from Archaeological Sites, Conservation Guidelines No. 3 [46].

Il **Canadian Conservation Institute (CCI)**, nato nel 1972 per sostenere la conservazione del patrimonio culturale canadese e per promuovere la scienza e la tecnologia applicate alla conservazione, ha pubblicato importanti “bollettini tecnici”, con la finalità di informare curatori e conservatori museali sulle tecniche e principi di conservazione più moderni. Tra questi ricordiamo quello dedicato alle Linee guida per l’umidità e la temperatura negli archivi canadesi [9,17,24,41].

Di notevole interesse sono anche i documenti tecnici chiamati “**Conserve O Grams**”, pubblicati dal **National Park Service – Museum Management Program** di Washington, che si occupano

di gestione e cura delle opere d'arte nei musei: forniscono procedure, tecniche e materiali per preservare gli oggetti d'arte, una nutrita bibliografia ed elenchi di fornitori, ad uso del personale museale esperto e non, come anche dei collezionisti privati. Tra tutti possiamo ricordare: Ch. 4: Museum Collections Environment del 1999, Ch. 5: Biological Infestations del 1998 e Ch. 8: Conservation Treatment del 2001 [28,29,30].

8.3.2 Norme tecniche

Per quanto riguarda la normativa tecnica internazionale, alcune norme tecniche sono state pubblicate dal **National Information Standards Organization (NISO)**, un'associazione no-profit accreditata dall'American National Standards Institute (ANSI), che identifica, sviluppa e pubblica standard tecnici sulla gestione dell'ambiente. In particolare ricordiamo:

ANSI/NISO Z39.79 2001 Environmental Conditions for Exhibiting Library and Archival Materials [2].

Sintesi

La gestione della conservazione del patrimonio culturale richiede la conoscenza e l'utilizzo di linee guida, norme e leggi. Per linee guida intendiamo documenti, generalmente pubblicati da istituzioni del settore beni culturali, che forniscono raccomandazioni non obbligatorie su argomenti specifici (ad esempio le linee guida per biblioteche e archivi inglesi del National Preservation Office). Le norme, o standard, sono documenti contenenti prescrizioni specifiche e obbligatorie per il raggiungimento di un certo obiettivo (ad esempio: le norme UNI sul metodo per misurare la temperatura di una superficie). Per

leggi infine intendiamo tutti i documenti emanati a livello nazionale, regionale, provinciale o comunale sotto forma di decreti e deliberare (ad esempio il Decreto Ministeriale 10 maggio 2001).

La scelta delle procedure di conservazione preventiva richiede una competenza multidisciplinare che spesso è realizzata nelle linee guida.

La complessità e varietà degli oggetti e dei materiali che costituiscono il patrimonio culturale, unitamente alla diversità geografica e climatica dei musei in cui essi si trovano, rendono comunque difficoltosa l'unificazione

NISO TR01 1995 Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records [32].

Vale la pena citare anche l'**ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers)** che nel 2003 ha pubblicato un manuale "Applications 2003 - Museums, Libraries, and Archives" che contiene numerose informazioni circa le fonti di inquinamento, la qualità dell'aria indoor e le minacce per le opere d'arte. Inoltre il manuale sottolinea che devono essere garantite condizioni diverse a seconda del tipo di collezione, rimarcando l'importanza della definizione dei campi di variabilità richiesti per i singoli parametri; evidenzia la necessità di utilizzare microambienti, come le vetrine, per collezioni che richiedono condizioni ambientali particolari o comunque ogni volta si intraveda un risparmio in termini energetici ed economici; divide gli ambienti in 5 categorie, a seconda della classe di controllo definita in funzione della fluttuazione massima ammissibile per temperatura e umidità, e utilizza tali categorie nella classificazione degli edifici in cui le collezioni sono esposte, partendo dal presupposto che non sempre gli ambienti espositivi sono stati progettati e realizzati con questo scopo [1].

degli standard e dei documenti pubblicati, nonostante l'intensa attività di organizzazioni internazionali quali ICCROM e ICOM.

La responsabilità quindi ritorna nelle mani di coloro che hanno deciso di affrontare in maniera concreta i molti problemi della conservazione e a cui spetta il compito di selezionare e adattare in modo critico la notevole quantità di documenti che oggi sono disponibili presso diverse istituzioni.

Anche nel campo della conservazione

dei beni culturali lo scenario di attività e di situazioni è cambiato: i crescenti scambi di persone, iniziative e opere d'arte tra i paesi del mondo hanno suscitato la necessità di creare una "lingua" comune, partendo dalla conoscenza di ciò che già è disponibile e che oggi è facilmente reperibile attraverso gli strumenti informatici (web e internet). Questa base di conoscenza ed esperienza comuni è in rapida evoluzione e a disposizione di chi ha a cuore la sopravvivenza del nostro patrimonio culturale.

CAPITOLO

9



Casi di Studio



LE SCHEDE DEI CASI DI STUDIO

I casi di studio riportati sulle schede rappresentano situazioni reali scelte fra musei, gallerie e archivi in rete o collegati al Progetto MUSA. Le schede non identificano il luogo ma la tipologia dell'istituzione, i materiali conservati e le problematiche locali di conservazione.

Le schede presentate mostrano una casistica di situazioni raccolte in molti anni di esperienza di monitoraggio presso diverse realtà museali, dalle quali è possibile ricavare le problematiche più ricorrenti, rilevate grazie al controllo continuo degli ambienti, che ha permesso di intervenire per migliorare le condizioni in cui le opere sono conservate.

Presso ogni museo è stata installata la strumentazione per il monitoraggio dei principali parametri ambientali, costituita da una centralina di acquisizione dati e da sensori di temperatura e umidità relativa collegati alla centralina o via cavo o via radio (cordless). I dati misurati in automatico sono stati trasmessi giornalmente via modem o GSM al Centro di Elaborazione Dati (CED) presso il CNR di Bologna.

I casi di studio sono strutturati nel modo seguente:

TIPOLOGIA • Descrizione dell'ambiente

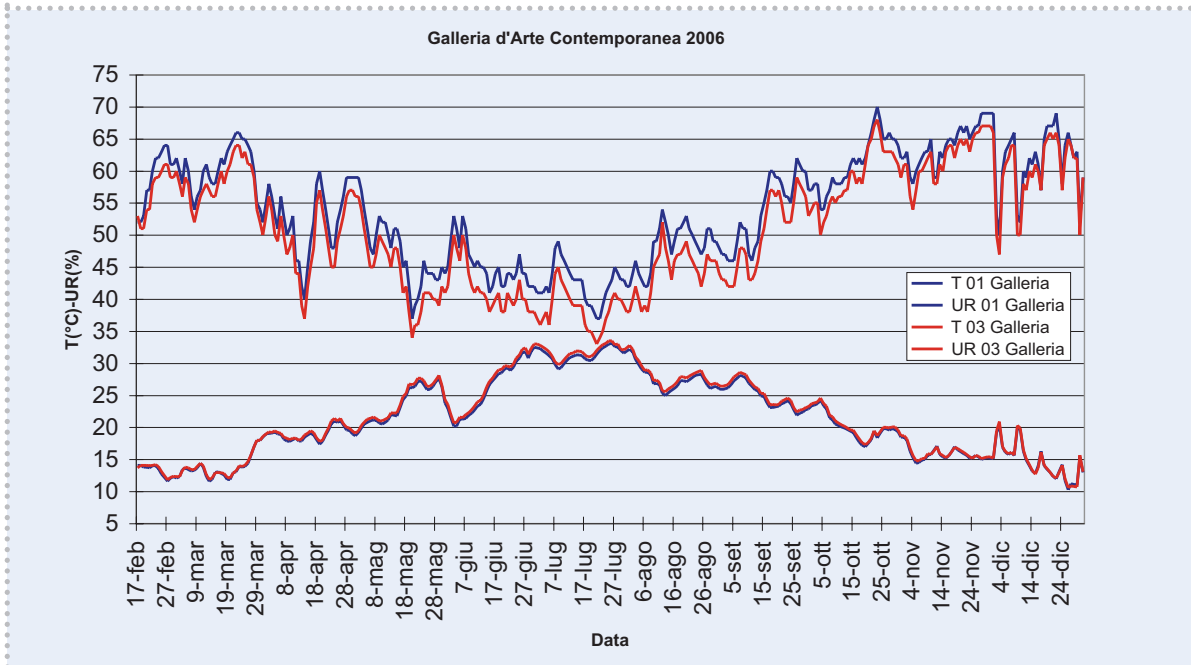
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Elenco delle tipologie dei beni conservati

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Descrizione ed eventuali particolarità dell'edificio; edificio storico o contemporaneo

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Descrizione dei sistemi di riscaldamento e/o climatizzazione e/o deumidificazione eventualmente presenti nel museo

NUMERO DI SALE MONITORATE • Numero delle sale in cui viene effettuato il controllo microclimatico, punti di misura e parametri misurati

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



Il grafico riporta sull'asse delle ascisse (in basso) il periodo preso in esame (giorno e mese) e sull'asse delle ordinate (a sinistra) i valori di Temperatura (T) e Umidità Relativa (UR), espressi rispettivamente in gradi centigradi (°C) e percentuale (%) su una unica scala.

Le curve del grafico rappresentano l'andamento termoigrometrico delle sale, la cui Temperatura ed Umidità Relativa sono rappresentate col medesimo colore (generalmente le curve più in basso sono quelle di temperatura). Le linee di colore diverso indicano sale diverse.

Sulla destra è generalmente presente una legenda con i colori ed il nome o numero delle sale.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

La Tabella riporta i valori minimi, medi e massimi della T e della UR in ogni stagione. Le stagioni sono convenzionalmente da intendersi come segue:

- inverno: dicembre-febbraio
- primavera: marzo-maggio
- estate: giugno-agosto
- autunno: settembre-novembre

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Viene riportato l'elenco dei materiali presenti nelle sale maggiormente a rischio per la loro maggiore sensibilità alle variazioni microclimatiche o per la loro collocazione in sale maggiormente critiche da questo punto di vista.

Vengono riportati inoltre i valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione delle opere esposte.

PROBLEMATICHE

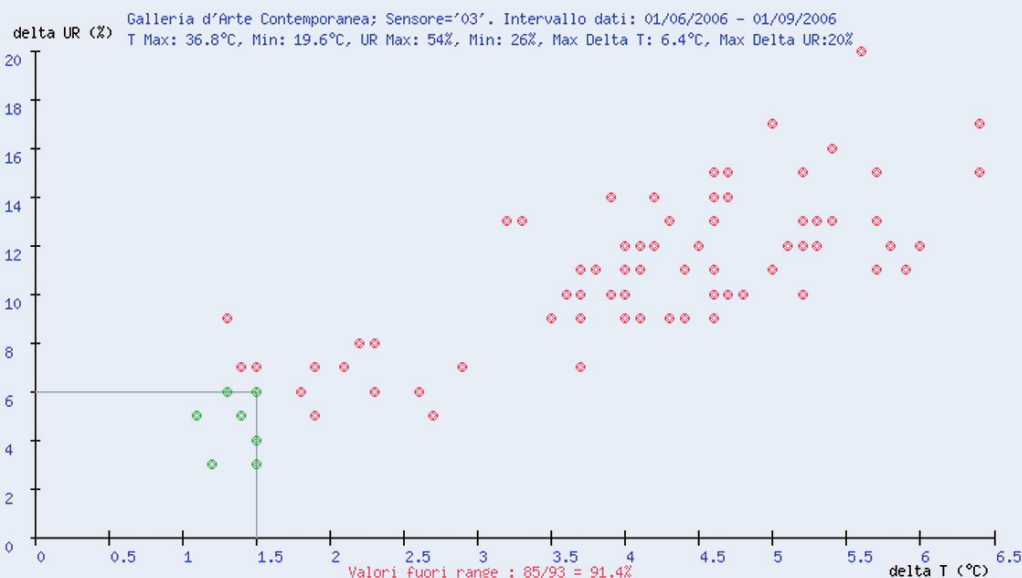
Sotto questa voce sono riportate le problematiche emerse dal monitoraggio microclimatico del museo che possono influire sulla conservazione delle opere presenti.

Il grafico mostra le situazioni di rischio (punti rossi al di fuori del rettangolo) per pitture su tavola, in particolare, e in generale per strutture lignee, e i giorni con condizioni corrette (punti verdi dentro il rettangolo). Ogni punto (rosso e verde) del grafico indica la variazione giornaliera di T e UR. Il numero di punti corrisponde al numero di giorni esaminati. I limiti delle variazioni giornaliere accettati per i materiali lignei sono di 1,5°C per la T e 6% per l'UR nelle 24 ore. Il rettangolo rappresenta l'area di sicurezza contenente tutti i giorni con condizioni corrette di T e UR.

Sulle ascisse è rappresentata la variazione giornaliera di T (delta T); sulle ordinate quella della UR (delta UR).

Normalmente questo tipo di grafico è accompagnato da una tabella che identifica la data di tutti i punti esaminati. In tal modo si potrà risalire alle giornate fuori limite di sicurezza.

Questo grafico che evidenzia il rischio viene riproposto anche per altri tipi di materiali e di danno, utilizzando modelli di valutazione basati su altri parametri (es. previsioni di attacco fungino su intonaco).



SOLUZIONI

Si riportano suggerimenti e soluzioni che il museo dovrà attuare per contenere, migliorare e risolvere le problematiche di conservazione delle opere monitorate.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL MUSEO NEL PROGETTO

È riportato un commento circa la collaborazione e l'interesse dimostrato dal personale del museo durante il tutoraggio.

Questa nota non rappresenta un giudizio formale ma un segnale importante del livello di percezione del "servizio" MUSA da parte del museo, dal Direttore al personale. La valenza positiva o negativa del segnale può dipendere non solo dal museo (interesse, disponibilità di personale, informazione) ma anche dai modi di interazione utilizzati dal Progetto nei confronti del museo.

TIPOLOGIA • Galleria d'Arte Contemporanea

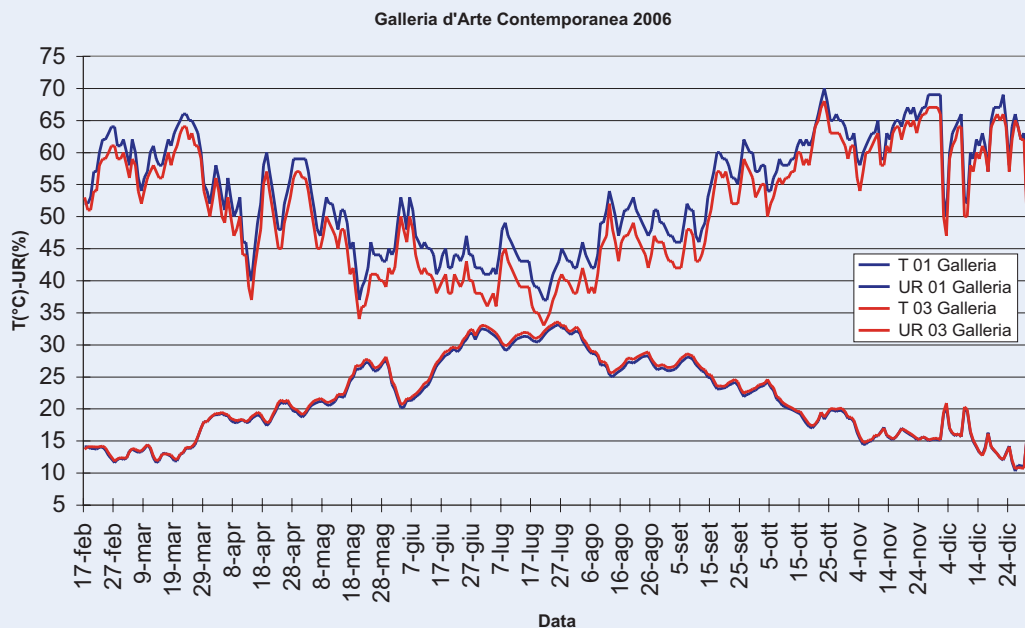
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Pitture su tela, disegni su carta, pitture su tavole di metallo, sculture in metallo, ceramiche, oggetti polimerici (materiali sintetici, metallo, elementi organici, resine)

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Edificio moderno, di ridotte dimensioni, senza nessuna valenza storica
• Presenza di vetrata di grandi dimensioni orientata a mezzogiorno

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Circolazione forzata dell'aria a soffitto e gestione centralizzata
• Riscaldamento invernale in funzione solo durante gli orari di apertura (sabato e domenica)
• Climatizzazione estiva in funzione solo durante gli orari di apertura (su richiesta)

NUMERO DI SALE MONITORATE • Unico ambiente espositivo, sito al primo piano, monitorato con sonde T/UR in 5 punti distribuiti sul piano

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



Nell'arco dell'anno risulta evidente una variazione di temperatura molto accentuata fra estate e inverno (26°C); questa ampia variazione è visibile anche a livello stagionale. Per quanto riguarda l'umidità relativa, anch'essa registra ampie variazioni fra il periodo invernale ed estivo, presentandosi in modo anomalo rispetto all'andamento tipico degli ambienti riscaldati. L'anomalia consiste nei valori estivi di UR tendenzialmente bassi mentre i valori invernali risultano alti per la mancanza o scarso utilizzo del sistema di riscaldamento.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	8.8	13.6	25.8	35	62	70
Primavera (marzo-maggio)	11.0	18.7	29.8	34	53	67
Estate (giugno-agosto)	19.2	28.4	34.8	32	45	57
Autunno (settembre-novembre)	13.6	20.2	29.9	38	60	72

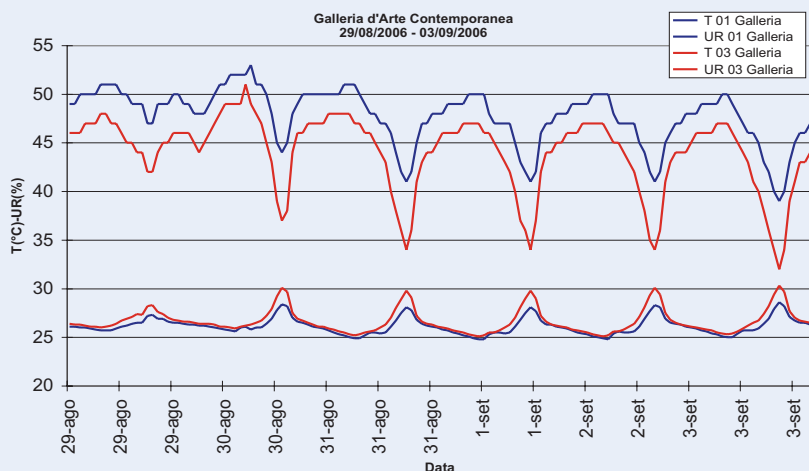
SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Materiali a rischio: pitture su tela, disegni su carta, oggetti polimerici (materiali sintetici, metallo, elementi organici, resine). Zona espositiva più a rischio: vicino all'ampia vetrata (sensore 03 del grafico). I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

MATERIALI	T °C	UR %
Pitture su tela	19-24	40-55
Disegni su carta	18-22	40-55
Sculture in metallo	non rilevante	< 50%
Ceramiche	non rilevante	non rilevante
Oggetti polimerici (materiali sintetici, metallo, elementi organici, resine)	19-24 (limiti suggeriti per materiali organici)	50-65 (limiti suggeriti per materiali organici)

PROBLEMATICHE

L'andamento termoisgrometrico della Galleria si presenta piuttosto critico in quanto caratterizzato da sensibili oscillazioni giornaliere della T e della UR, registrate in particolar modo dai sensori più prossimi alla vetrata centrale della galleria, che mostrano le maggiori oscillazioni giornaliere soprattutto

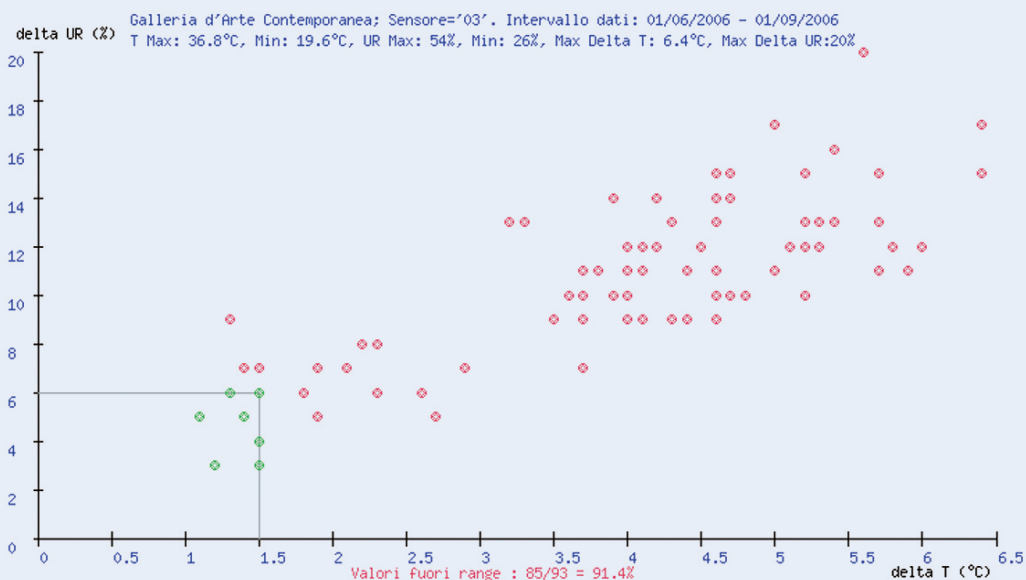


nel periodo estivo, a causa del riscaldamento provocato dal sole, nonostante la vetrata sia schermata con una pellicola oscurante (vedi grafico).

L'opera polimerica più importante della Galleria di grandi dimensioni, subisce forti stress meccanici dovuti alle oscillazioni di T e UR dell'aria, oltre a ricevere calore per irraggiamento solare. L'opera si trova a ridosso della vetrata ed è esposta in maniera permanente.

Durante l'inverno le escursioni termoisometriche sono causate dall'utilizzo intermittente del riscaldamento.

Il grafico del rischio che segue si riferisce al periodo estivo: ogni punto rosso indica un giorno in cui la variazione giornaliera di T e UR ha superato i limiti consigliati per i materiali lignei (1,5°C per la T e 6% per l'UR). Il rettangolo rappresenta l'area di sicurezza. Come si può notare, nel periodo estivo il numero di giorni con condizioni corrette di conservazione è esiguo.



SOLUZIONI

- Si è suggerito di schermare diversamente la finestra centrale oppure riconsiderare l'ubicazione dell'opera posta di fronte ad essa.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

- Sufficiente collaborazione.

TIPOLOGIA • Museo

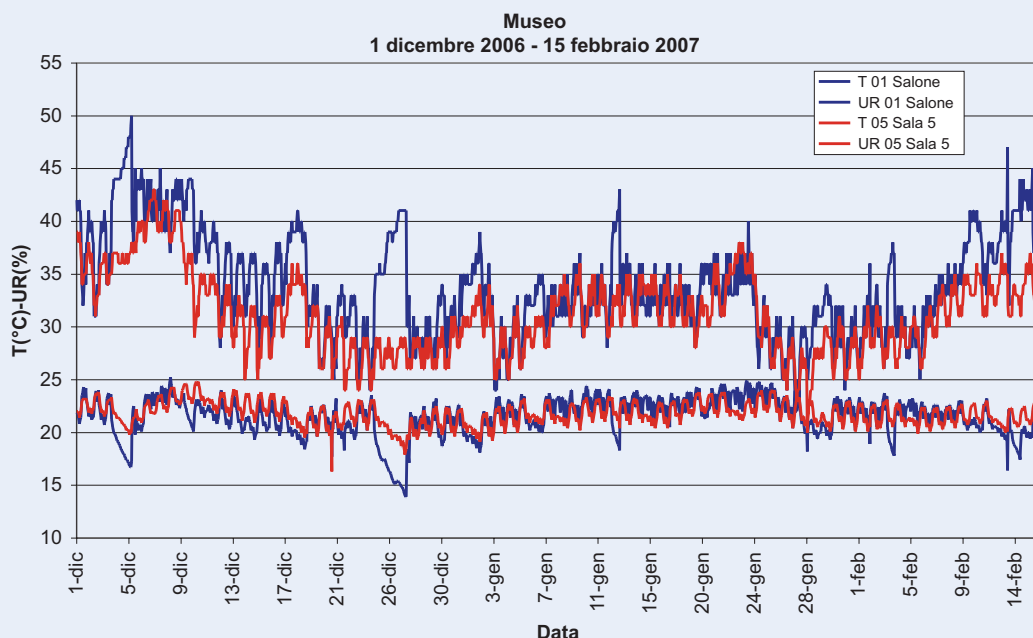
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Affreschi, documenti archivistici su carta o pergamena, legature di libri con pelle o pergamena; materiali in gesso, pitture su tavola e soffitti lignei

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Palazzo storico, di grande valore storico-artistico-architettonico.
• Ampio salone con affreschi. Soffitti alti

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Termoconvettori
• Riscaldamento invernale in funzione durante gli orari di apertura (dalle 9 alle 18, escluso il lunedì)

NUMERO DI SALE MONITORATE • Tre sale, al primo piano, monitorate con sonde T/UR in 6 punti

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



L'andamento microclimatico visibile nel grafico relativo al periodo invernale evidenzia una situazione molto critica all'interno del museo. La UR registra valori molto bassi e viceversa la T valori alti. Siamo in presenza di forti escursioni termoisgrometriche dovute ai cicli di on/off del riscaldamento. Materiali cartacei, pitture su tavola e affreschi risentono pesantemente di questa situazione. Nel grafico sono chiaramente visibili i giorni di chiusura del museo caratterizzati da minimi di T pronunciati dovuti allo spegnimento del riscaldamento.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

La tabella riporta solo i valori invernali in quanto il monitoraggio è iniziato nel dicembre 2006 (n.d. = non disponibile).



STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	13.9	22	26.5	20	32	53
Primavera (marzo-maggio)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Estate (giugno-agosto)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Autunno (settembre-novembre)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Materiali a rischio: affreschi, documenti archivistici su carta o pergamena, legature di libri con pelle o pergamena, pitture su tavola, materiali in gesso.

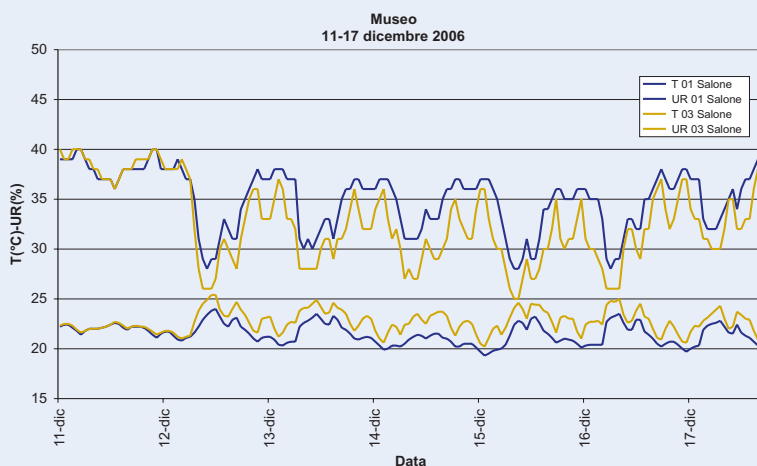
I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:



MATERIALI	T °C	UR %
Affreschi	10-24	55-65
Documenti archivistici su carta e pergamena	13-18	50-60
Legature di libri con pelle o pergamena	19-24	45-55
Pitture su tavola	19-24	50-60
Materiali in gesso	21-23	45-55

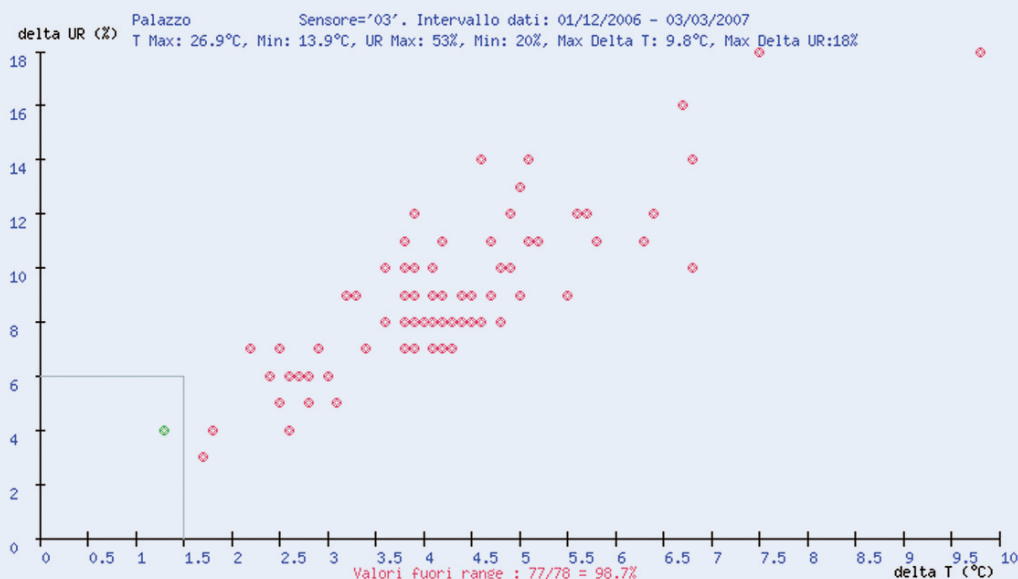
PROBLEMATICHE

Dall'analisi dei dati invernali si evidenzia una UR generalmente bassa, che raramente supera il 50% e resta compresa tra il 25 ed il 40%, valori molto pericolosi soprattutto per il materiale ligneo e cartaceo. Viceversa si segnalano valori elevati di temperatura compresi fra 23 e 25 °C durante gli orari di apertura al pubblico. Il sensore 3, più prossimo alle scale di ingresso del Salone e sito dove permane a lungo il personale di sorveglianza, registra i valori di T più elevati, che raggiungono i 26 °C (dovuti al maggior utilizzo del termoconvettore posto in quella zona).



Durante il giorno di chiusura del museo (lunedì) si registra un abbassamento dei valori di T fino a 10°C in meno rispetto ai giorni di apertura e funzionamento del riscaldamento. A ciò corrisponde un rialzo della UR, seppur di breve durata.

Si evidenziano inoltre sensibili variazioni di T e UR in tutte le sale, soprattutto nel Salone affrescato. Il grafico seguente evidenzia che durante il trimestre invernale tutti i giorni hanno registrato condizioni a rischio per i materiali lignei (in particolar modo i soffitti decorati, presenti in tutte le sale).



SOLUZIONI

Si è suggerito di portare i valori di T verso i 20 -21°C, abbassamento estremamente utile sia per una migliore conservazione dei materiali esposti che dal punto di vista del risparmio energetico e delle risorse economiche impiegate nella gestione del riscaldamento. Si rende necessario un chiarimento sulle norme di comportamento della sorveglianza in merito alla gestione del riscaldamento.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Buona collaborazione ed interesse.

TIPOLOGIA • Archivio Storico

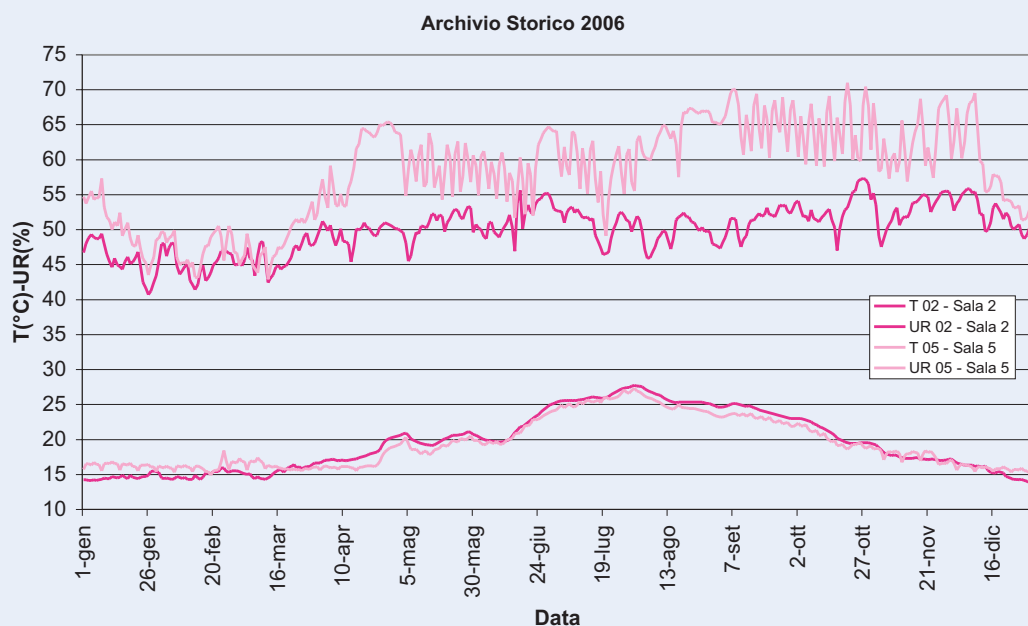
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Documenti archivistici su carta o pergamena, legature di libri con pelle o pergamena

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Palazzo storico

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Radiatori con gestione centralizzata
• Riscaldamento invernale continuo
• Deumidificatore nella Sala 5

NUMERO DI SALE MONITORATE • Cinque sale, monitorate con sonde T/UR

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



Il materiale cartaceo conservato in questo archivio è soggetto a sensibili variazioni termoigrometriche ed UR alta in una sala (sala 5). La T registra valori relativamente nella norma; nel periodo estivo raggiunge valori al di sopra dei 25°C per un breve periodo. L'escursione annua di T è di circa 13°C, quella di UR è del 17% (sala 2).

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	13.6	14.9	18	36	47	56
Primavera (marzo-maggio)	14.1	17.8	21.4	39	49	55
Estate (giugno-agosto)	19.4	24.5	28	38	51	62
Autunno (settembre-novembre)	16.7	20.9	25.3	44	52	59

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Documenti archivistici su carta o pergamena, legature di libri con pelle o pergamena.

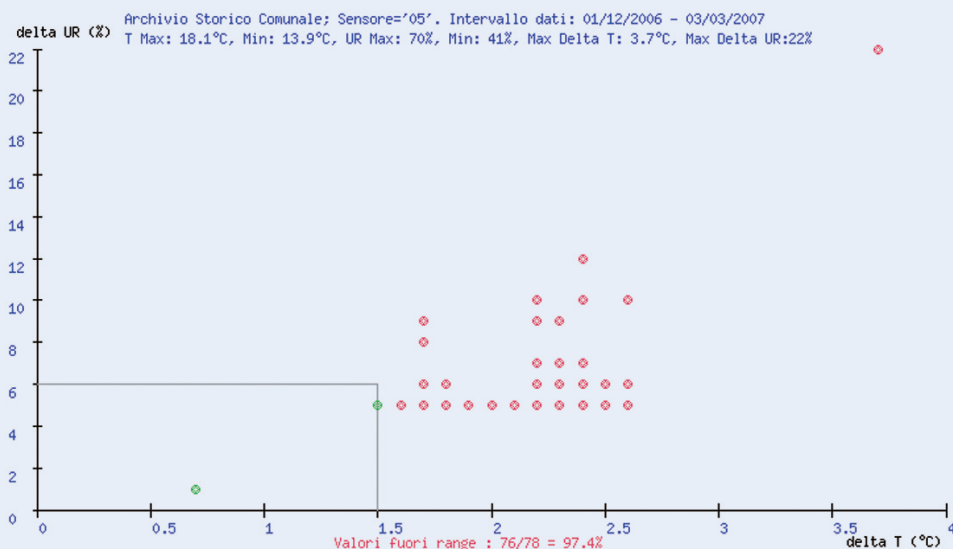
Zona espositiva più a rischio: Sala 5 con UR alta

I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

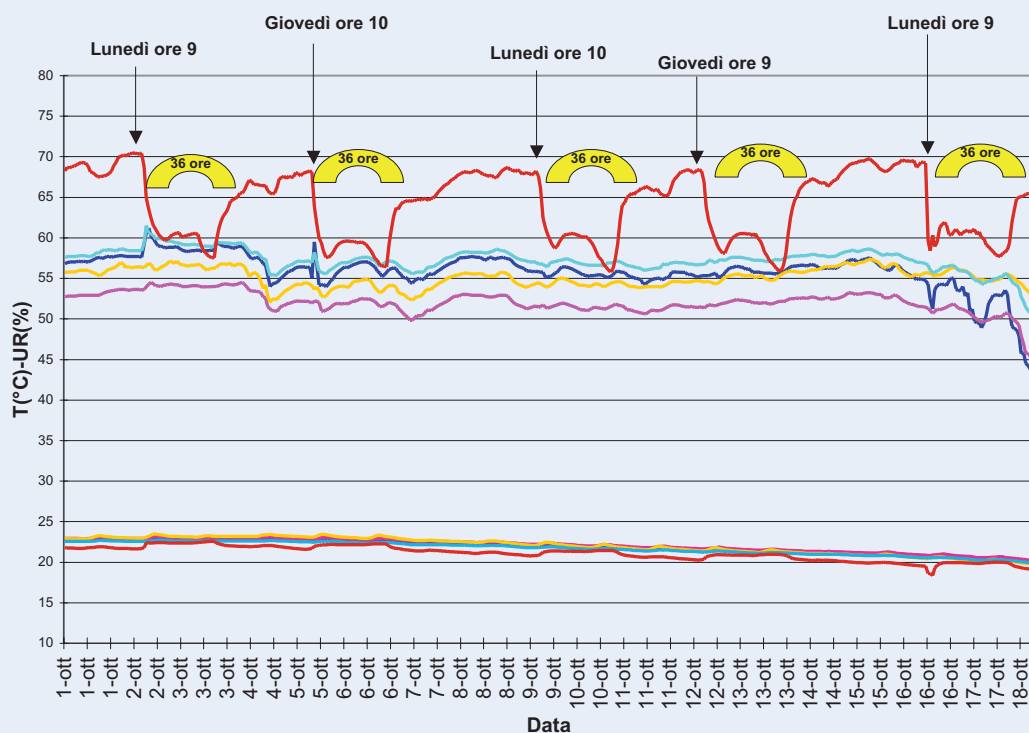
MATERIALI	T °C	UR %
Documenti archivistici su carta o pergamena	13-18	50-60
Legature di libri con pelle o pergamena	19-24	45-55

PROBLEMATICHE

Il microclima delle sale dell'archivio in inverno risente dell'utilizzo del riscaldamento, che nelle ore notturne viene abbassato e nei giorni di apertura al pubblico viene alzato. È in questa fascia oraria infatti che si verifica un innalzamento della T che arriva a 6°C e la UR presenta valori mediamente bassi. L'andamento termoigrometrico si presenta quindi caratterizzato da sensibili oscillazioni giornaliere della T e della UR, pericolose per il materiale cartaceo.



Nella Sala 5 la UR è mediamente più alta. Nei mesi primaverili, estivi e autunnali in questa sala la UR registra valori molto alti (al di sopra del 65%) e per tale motivo a partire da metà gennaio 2006 è stato installato un deumidificatore. Una inadeguata gestione del deumidificatore ha però comportato ulteriori oscillazioni di UR nella Sala 5, ancora più nocive della UR alta ma stabile. Il grafico di seguito mostra come lo svuotamento manuale della vaschetta ha impedito il funzionamento continuo del deumidificatore. Le 36 ore indicate in giallo mostrano i periodi di effettivo funzionamento del deumidificatore.



SOLUZIONI

- Il mantenimento di un riscaldamento continuo, impostato su una temperatura di 17-18°C è stato raccomandato successivamente al periodo di monitoraggio del museo iniziato nel 2005. Il deumidificatore posto nella sala 5 è stato suggerito sulla base degli alti valori di UR riscontrati; in secondo luogo, verificato che lo svuotamento manuale è difficoltoso, si è suggerito di rendere lo scarico dell'acqua del deumidificatore continuo. Da ciò dipende la corretta conservazione del materiale cartaceo.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

- Buona collaborazione ed interesse da parte del personale, che ha prontamente seguito i suggerimenti e i consigli.

TIPOLOGIA • Galleria d'Arte Moderna e Contemporanea

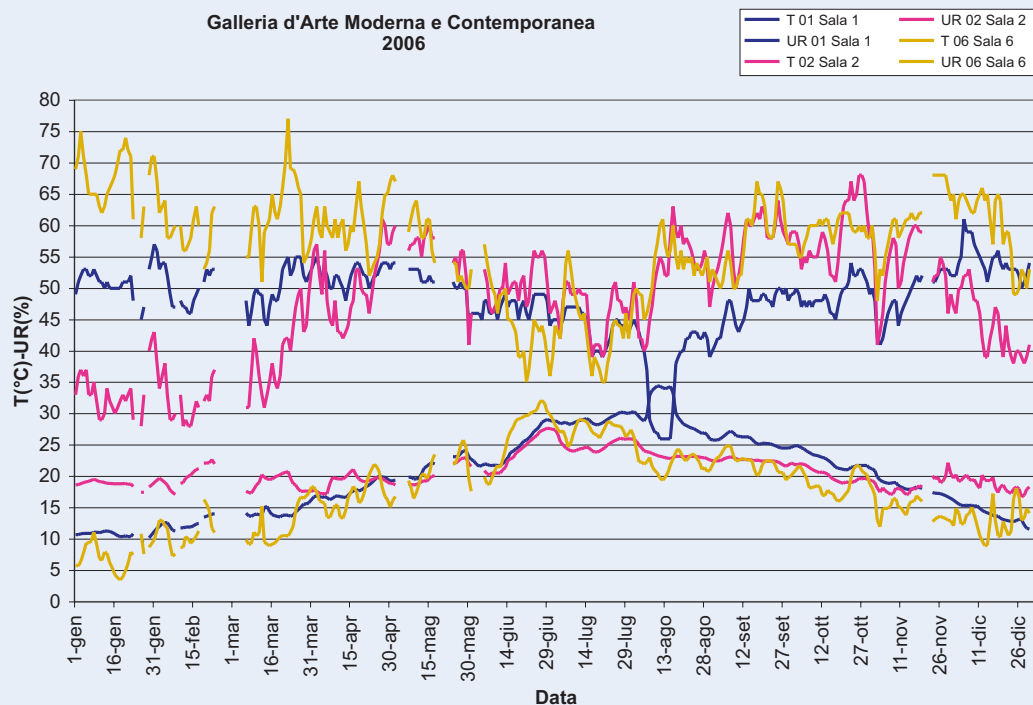
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo, pitture su tavola, pitture su tela, materiali in gesso, oggetti in metallo

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Palazzo storico; esposizione permanente su quattro piani

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Radiatori
• Riscaldamento invernale continuo
• Deumidificatore nella Sala 1, non riscaldata
• Dall'estate 2006 sono stati installati dei condizionatori/deumidificatori in tutte le sale monitorate, tranne nella sala 1

NUMERO DI SALE MONITORATE • Sei sale dislocate tra il piano terra ed il terzo piano (sottotetto), monitorate con sonde T/UR

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



Andamento microclimatico molto critico, soprattutto nelle sale ai piani superiori (sala 6): sensibili variazioni termoigrometriche in tutte le sale del museo ad eccezione della sala 1, dove vengono attenuate dal deumidificatore. L'andamento della UR nella sale 2 e 6 è migliorato a partire dall'installazione di condizionatori (estate 2006).

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	15.8	19.2	23.4	23	35	63
Primavera (marzo-maggio)	16.4	19.4	24.0	30	49	70
Estate (giugno-agosto)	20.0	24.1	28.3	35	50	70
Autunno (settembre-novembre)	16.7	20.5	24.2	36	57	69

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

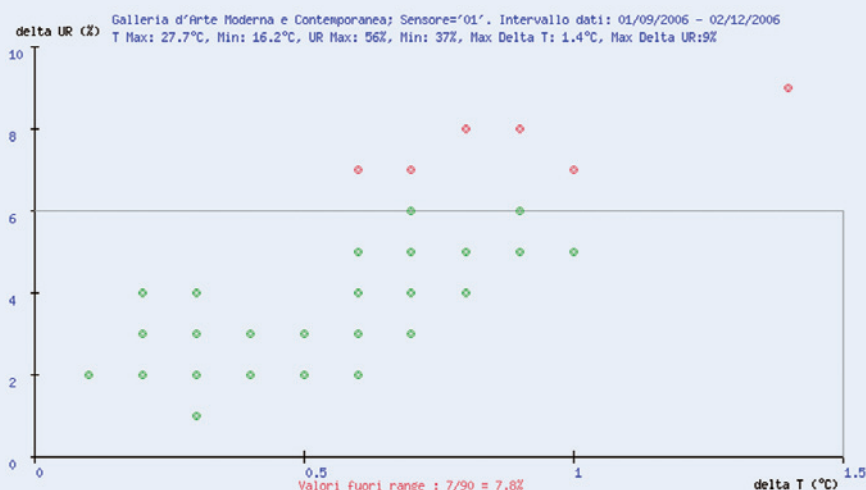
Materiali a rischio: disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo, pitture su tavola, pitture su tela, materiali in gesso. Zona espositiva più a rischio: terzo piano - sottotetto (Sala 6)

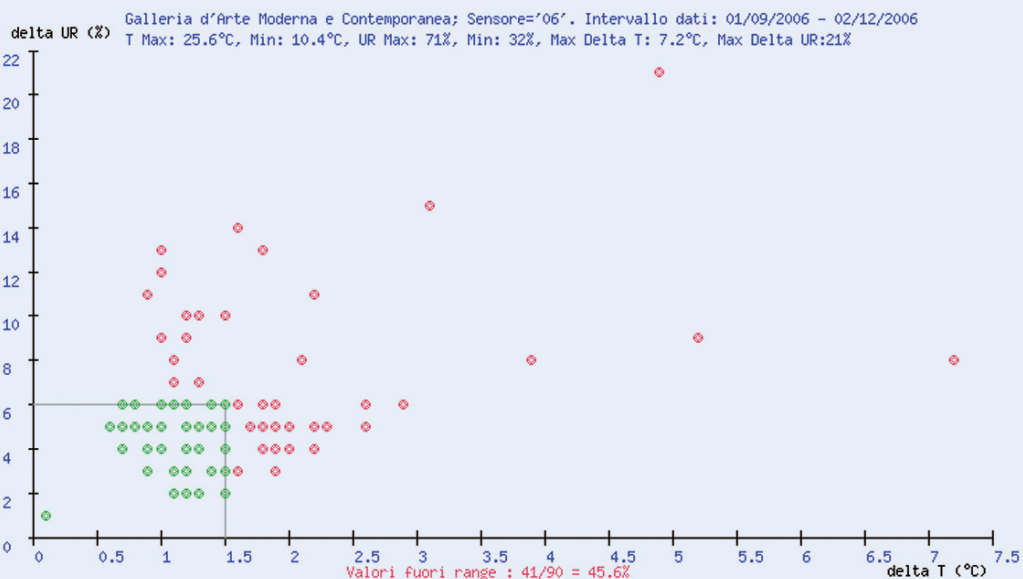
I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

MATERIALI	T °C	UR %
Disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo	19-24	45-60
Pitture su tela	19-24	40-55
Pitture su tavola	19-24	50-60
Materiali in gesso	21-23	45-55
Oggetti in metallo	non rilevante	< 50

PROBLEMATICHE

L'andamento termoigrometrico della Galleria si presenta piuttosto critico nelle sale ai piani superiori, in quanto caratterizzato da sensibili oscillazioni giornaliere della T e della UR. La Sala 1 dotata di deumidificatore presenta un microclima più stabile e meno soggetto ad escursioni. Di seguito si mostra il confronto tra due sale: la sala 1 al piano terra e la sala 6 nel sottotetto, scarsamente coibentato. Recenti miglioramenti nella gestione degli impianti favoriranno un microclima più idoneo alla conservazione.





In questo museo si sono verificate diverse situazioni-tipo che il controllo costante da parte del CED ha reso possibile correggere:

- non poche difficoltà legate ad interferenze nella strumentazione causate da un PC ed apparecchi bluetooth posti nelle vicinanze.
- spegnimento dei sensori da parte di ignoti.
- valori anomali nella Sala 1, dovuti ad un errore nell'impostazione del deumidificatore, che ha fatto sensibilmente innalzare la T ed abbassare la UR (metà agosto).

SOLUZIONI

Per i problemi riscontrati sopra sono state suggerite diverse azioni:

- spostare il ricevitore della centralina, disturbato dal PC, in una posizione diversa.
- sono stati riaccesi i sensori ed è stata applicata una piccola striscia di nastro adesivo sull'interruttore per evitarne la manomissione.
- la situazione è stata corretta dal personale del museo, reimpostando i valori del deumidificatore.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Buona collaborazione del personale, che ha prontamente seguito i suggerimenti e i consigli.

TIPOLOGIA • Chiesa, spazio semi-confinato

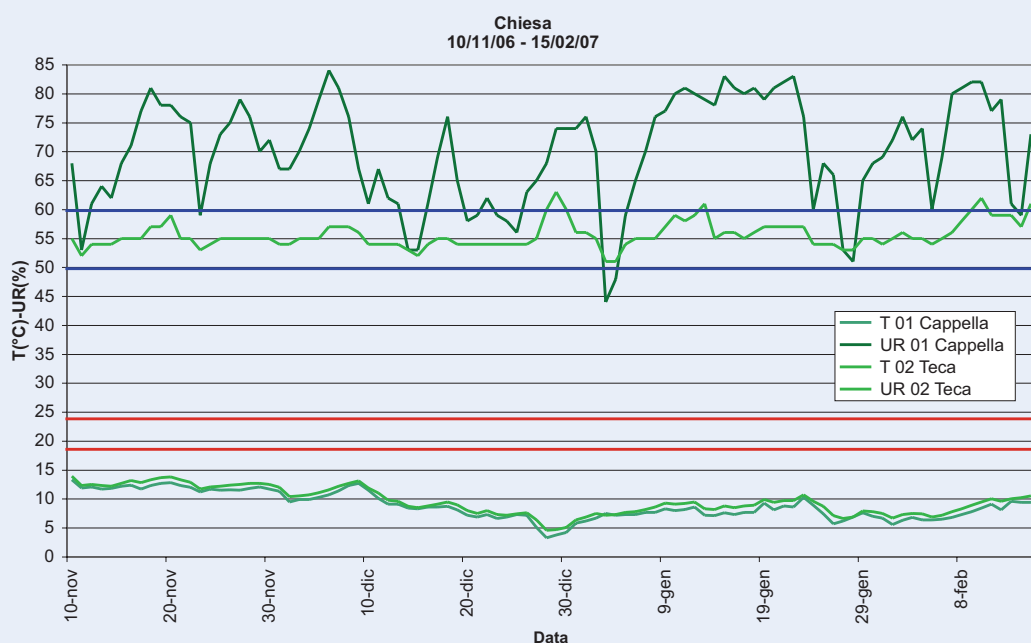
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Sculture policrome in legno conservate in teca

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Cappella di piccole dimensioni

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Assenza di impianti di riscaldamento/climatizzazione
• Teca dotata di impianto di circolazione e trattamento dell'aria

NUMERO DI SALE MONITORATE • Una sonda T/UR all'interno della teca; una sonda T/UR nella cappella

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



L'andamento termoigrometrico della teca nel periodo invernale risulta sostanzialmente costante (variazioni entro il 6% ad eccezione di alcuni giorni con apertura della teca per lavori). Le sculture lignee rimangono in un ambiente con una UR sufficientemente costante e compresa tra il 50 e il 60%.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

La tabella riporta solo i valori invernali in quanto il monitoraggio della teca è iniziato a metà novembre 2006 (n.d. = non disponibile).

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	4.0	9.0	13.4	46	56	70
Primavera (marzo-maggio)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Estate (giugno-agosto)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Autunno (settembre-novembre)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Materiali a rischio: legno policromo

I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

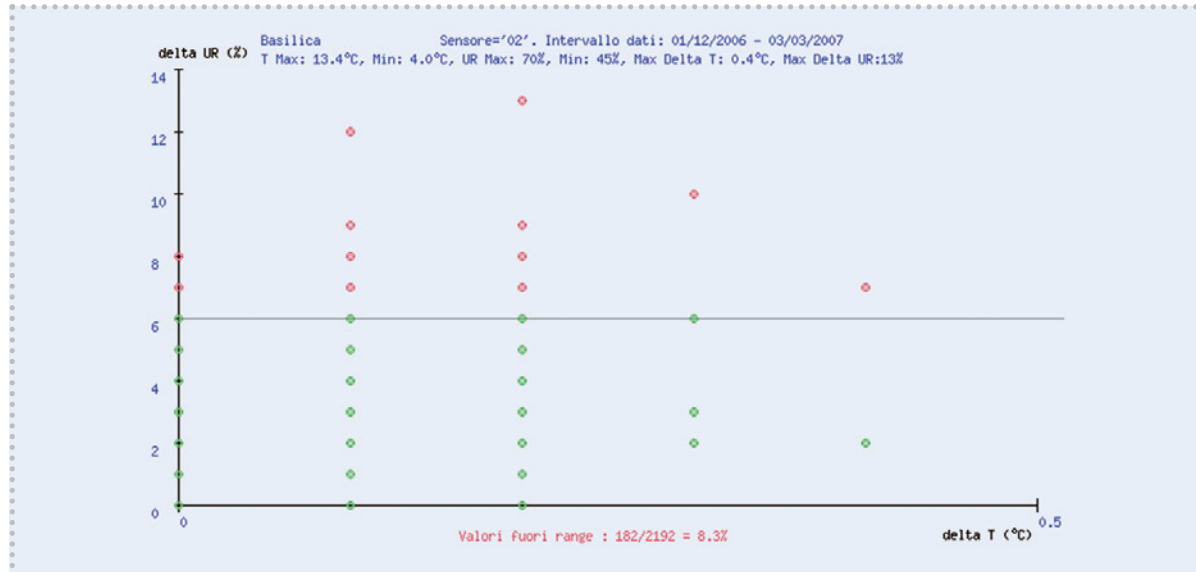


MATERIALI	T °C	UR %
Sculture policrome in legno, legno dipinto	19-24	50-60

PROBLEMATICHE

L'impianto di circolazione dell'aria della teca è stato realizzato sulla base di indicazioni tecniche fornite dal CNR, prima del trasferimento delle sculture lignee al suo interno. È stato controllato il microclima della teca e verificato il corretto funzionamento del sistema prima di collocarvi le opere. Il microclima della teca segue le condizioni esterne per quanto riguarda la temperatura, mentre viene corretta l'umidità relativa per mezzo della sonda UR che agisce sul funzionamento del deumidificatore. L'andamento termoisigrometrico all'interno della teca nel periodo invernale risulta costante. La UR compresa tra il 50 e il 60%.

Il sistema di circolazione dell'aria è provvisto di filtro per abbattere le polveri.



SOLUZIONI

Questo caso è un buon esempio di come creare un microclima favorevole alla conservazione senza l'ausilio di costosi e invasivi impianti di climatizzazione.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Buona collaborazione del personale.

TIPOLOGIA • Casa-museo

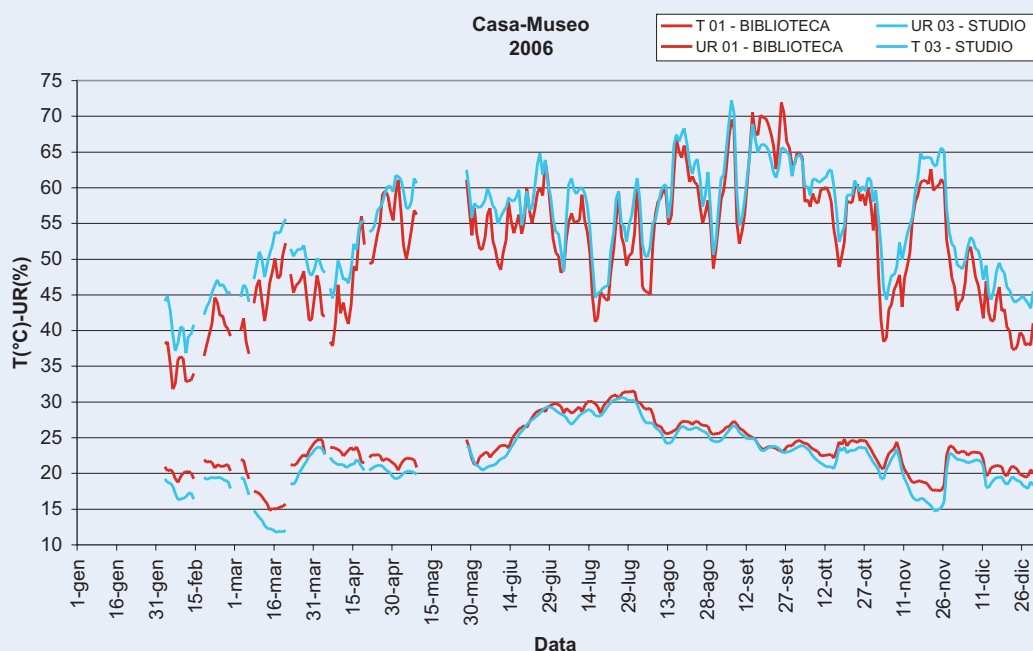
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Arredi, libri manoscritti e stampe, mobili con intarsi e lacche, pitture a olio

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Abitazione su due piani di inizio Novecento

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Radiatori

NUMERO DI SALE MONITORATE • Tre sale con tre sonde T/UR, una al piano terra e due al primo piano

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



Il materiale cartaceo e gli arredi lignei presenti nella casa-museo risentono delle sensibili escursioni giornaliere dei valori di T e UR. In estate si raggiungono temperature elevate, superiori ai 30°C e l'umidità, soprattutto nei mesi autunnali, registra valori elevati. Viceversa durante l'inverno in concomitanza con il riscaldamento, la UR si abbassa significativamente.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	12.9	21.0	23.9	29	41	54
Primavera (marzo-maggio)	14.6	21.2	25.7	34	49	64
Estate (giugno-agosto)	20.9	27.5	32.0	36	54	72
Autunno (settembre-novembre)	17.2	23.0	27.5	32	58	75

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Materiali a rischio: materiali cartacei, arredi lignei, pitture a olio

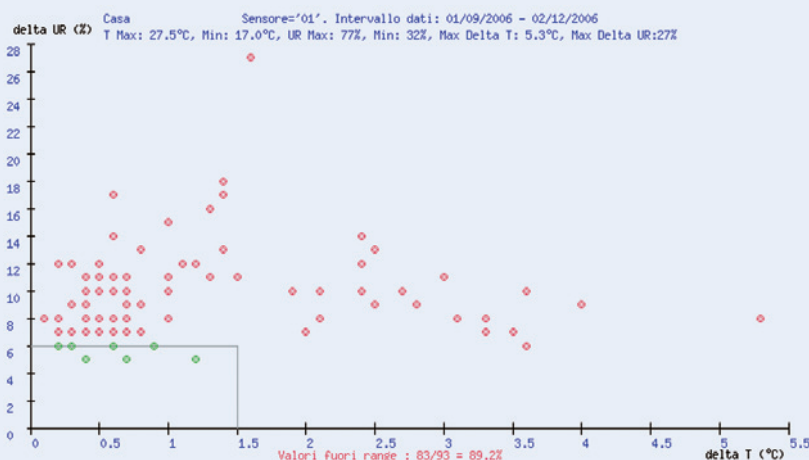
I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

MATERIALI	T °C	UR %
Documenti su carta o pergamena, manoscritti, volumi a stampa	13-18	50-60
Dipinti su tela, pitture a olio	19-24	40-55
Mobili intarsiati	19-24	50-60

PROBLEMATICHE

L'andamento termoigrometrico della casa-museo si presenta caratterizzato da sensibili escursioni giornaliere dei valori di T e UR. La biblioteca al piano terra è l'ambiente con T più elevata e UR bassa. Risulta inoltre la sala più esposta ad infiltrazioni d'acqua causate dal vicino canale. Il materiale cartaceo conservato e gli arredi lignei risentono di questa situazione. In estate si raggiungono temperature elevate; mentre l'umidità raggiunge valori massimi nei mesi autunnali. Viceversa durante l'inverno l'umidità si abbassa notevolmente.

Il grafico evidenzia una situazione critica in autunno quando il 90% dei giorni registra condizioni sfavorevoli alla conservazione dei materiali lignei e dei materiali cartacei.



SOLUZIONI

Per ridurre le escursioni termoigrometriche dovute ai cicli di on/off del riscaldamento si è suggerito di impostare un valore di T non superiore ai 22°C.

Per risolvere i frequenti problemi dello scarico dei dati da parte del CED, si è richiesto sin dall'inizio (2002) un numero telefonico dedicato, che è stata assegnato solo dopo tre anni, permettendo al CED di avere continuità di archivio.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Discreto coinvolgimento del personale.

TIPOLOGIA • Museo

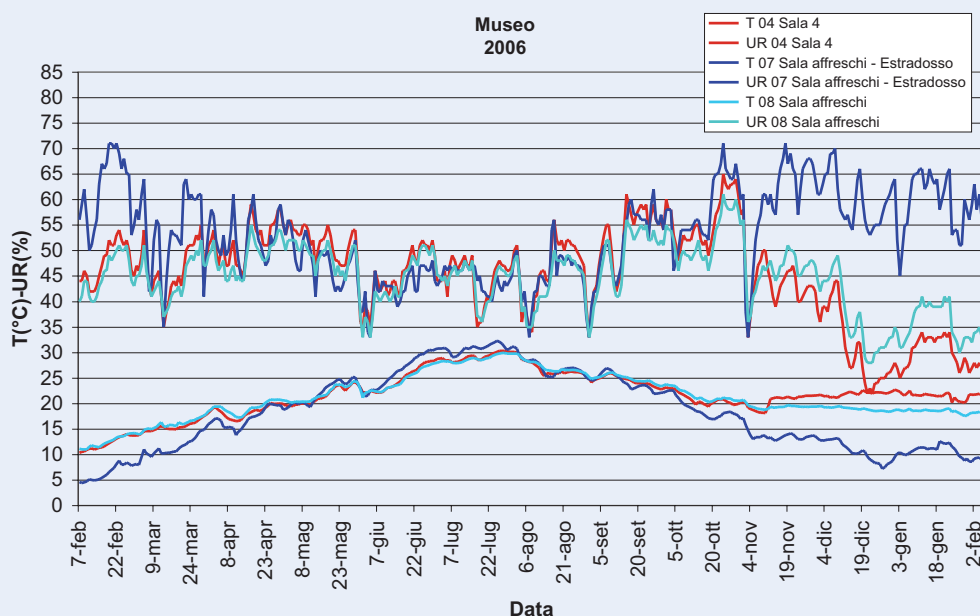
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Affreschi, materiale ligneo (arredi)

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Castello con affreschi di epoca cinquecentesca

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Termoconvettori. Funzionamento continuo da ottobre a marzo con gestione centralizzata

NUMERO DI SALE MONITORATE • Quattro sale monitorate da nove sonde T/UR. Due di queste sonde sono posizionate nell'estradosso posto tra la volta di una piccola sala affrescata (Sala affreschi) ed il tetto esterno della stessa

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



I valori di UR sono soggetti a sensibili escursioni e si presentano eccessivamente bassi nei mesi invernali, durante l'utilizzo del riscaldamento. Nell'arco dell'anno risulta evidente una variazione di temperatura molto accentuata fra estate e inverno (27°C). Il confronto dei valori rilevati nella sala affrescata e nell'estradosso porta ad affermare che la saletta è sufficientemente coibentata.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	10.6	17.2	20.1	26	38	61
Primavera (marzo-maggio)	13.6	19.0	26.3	27	47	62
Estate (giugno-agosto)	19.4	26.8	30.1	23	44	58
Autunno (settembre-novembre)	18.4	21.9	26.8	33	49	74

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Materiali a rischio: affreschi, arredi lignei

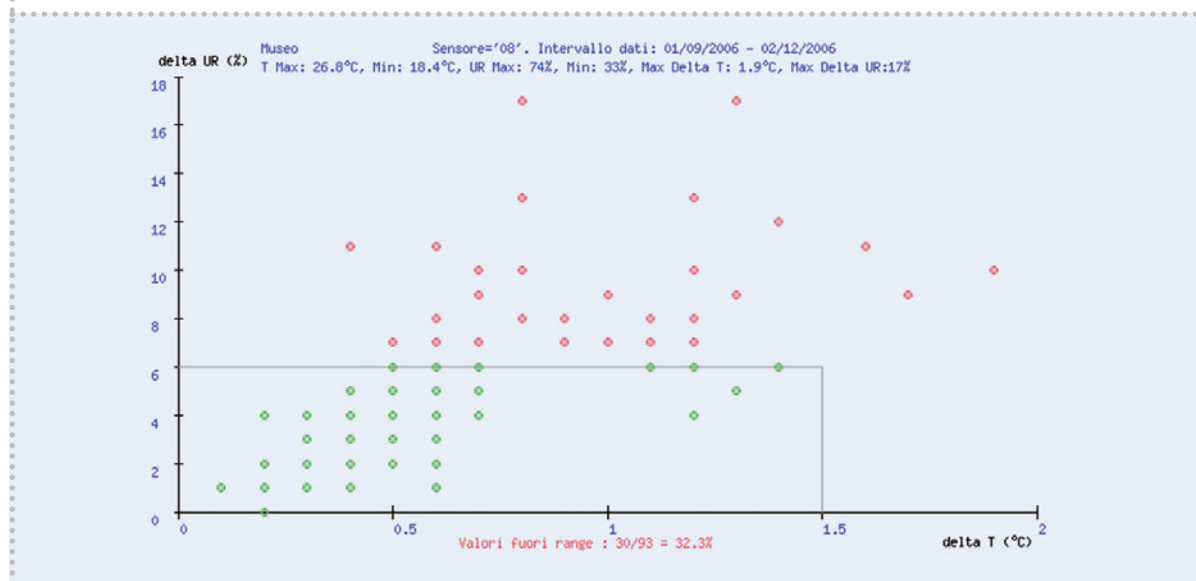
I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:



MATERIALI	T °C	UR %
Documenti su carta o pergamena, manoscritti, volumi a stampa	13-18	50-60
Dipinti su tela, pitture a olio	19-24	40-55
Mobili intarsiati	19-24	50-60

PROBLEMATICHE

In generale i valori di T sono contenuti entro i limiti fissati per una corretta conservazione delle superfici affrescate, ad eccezione del periodo estivo. I valori di UR sono soggetti a maggiori escursioni e si presentano eccessivamente bassi nei mesi invernali, durante l'utilizzo del riscaldamento, come si può vedere nel grafico sotto.



SOLUZIONI

È stato suggerito di regolare il riscaldamento portando la temperatura su valori attorno a 19°C, al fine di attenuare le variazioni termoigrometriche e innalzare la UR.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Discreta collaborazione del personale.

TIPOLOGIA • Chiesa adibita a museo

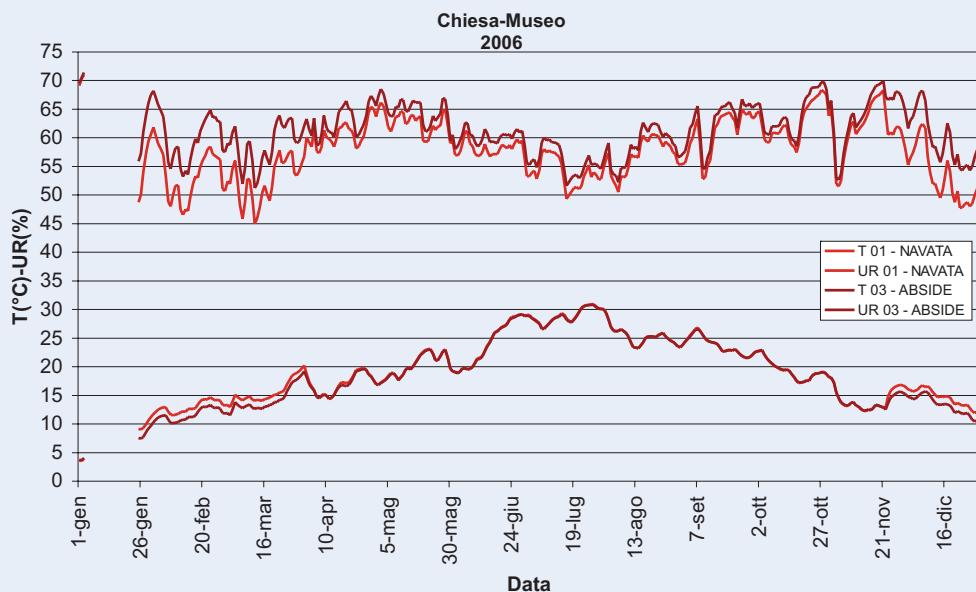
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Affreschi, pitture su tavola, pitture su tela

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Chiesa quattrocentesca, con affreschi del Cinquecento

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Riscaldamento radiante a pavimento

NUMERO DI SALE MONITORATE • Unico ambiente, l'interno della chiesa, monitorato da sei sonde T/UR: due nella navata centrale lato nord, due nella navata centrale lato sud e una nell'abside

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



L'andamento termoigrometrico del museo si presenta generalmente costante grazie alla tipologia di riscaldamento. L'UR è generalmente elevata, tra il 50 e il 70%. La variazione annuale di T è di 25°C. Il materiale conservato non gode di buone condizioni di conservazione.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	3.4	9.1	15.1	45	61	72
Primavera (marzo-maggio)	12.6	17.5	24.5	43	58	67
Estate (giugno-agosto)	18.1	26.1	31.8	47	56	62
Autunno (settembre-novembre)	11.8	19.2	27.8	49	62	69

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

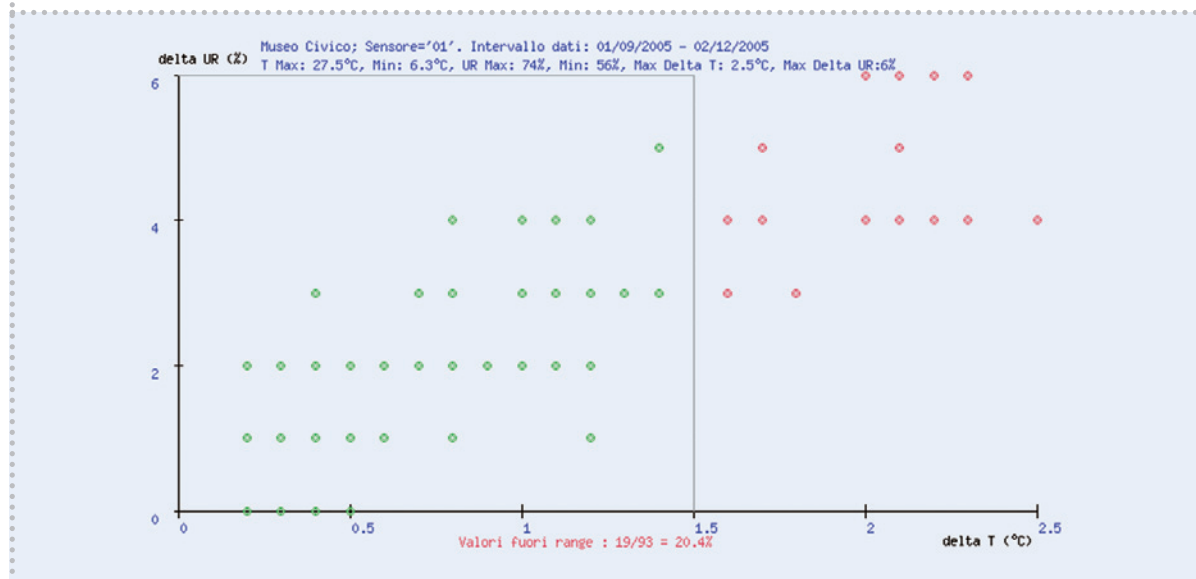
Materiali a rischio: affreschi, pitture su tavola e tela.

I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

MATERIALI	T °C	UR %
Affreschi	10-24	55-65
Pitture su tela	19-24	40-55
Pitture su tavola	19-24	50-60

PROBLEMATICHE

La UR registra valori superiori al 60% per 206 giorni su 365 (anno); pertanto, nonostante non subisca sensibili variazioni giornaliere come evidenziato nel grafico seguente, i suoi valori sono eccessivi per la buona conservazione delle pitture su tavola e tela.



SOLUZIONI

Necessità di deumidificare l'ambiente con l'installazione di un impianto adeguato al grande volume della chiesa.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Sufficiente collaborazione del personale.

TIPOLOGIA • Museo Naturalistico

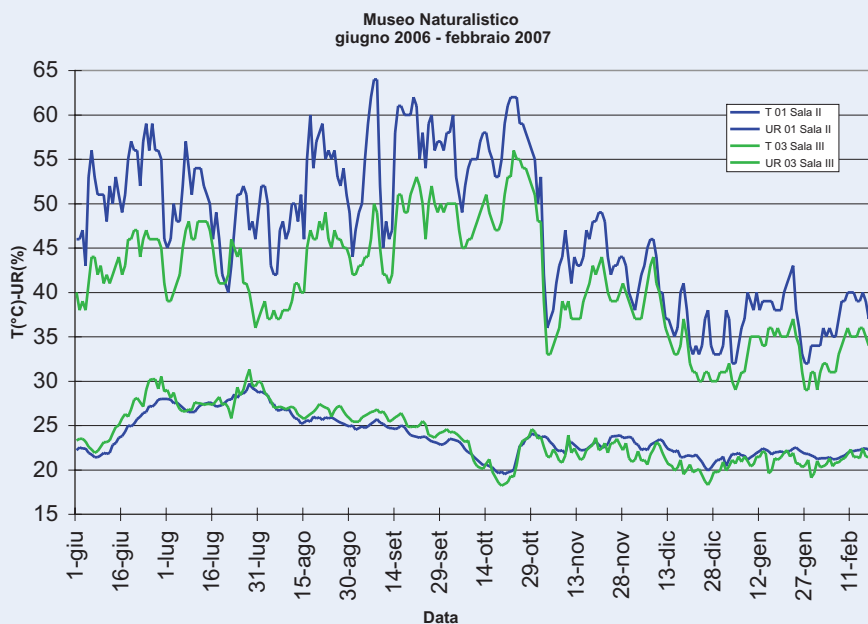
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Collezioni entomologiche; animali ed organi anatomici essiccati; pellicce, piume animali ed uccelli impagliati; collezioni di fossili, minerali e rocce

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Edificio su tre piani costruito negli anni Trenta
• Il museo si articola tra il piano terra ed il primo piano

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Termoconvettori in ogni sala
• Climatizzazione solo in una sala al primo piano (sala III)

NUMERO DI SALE MONITORATE • Tre sale, una al piano terra e due al primo piano, monitorate da tre sonde T/UR di cui una in una vetrina (sala III)

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



L'andamento termoigrometrico generale appare caratterizzato da temperature relativamente elevate anche in inverno e da umidità più elevata al piano terra, che nei mesi invernali risulta viceversa bassa (30%).

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

La tabella non riporta i valori primaverili in quanto il monitoraggio del museo è iniziato a fine maggio 2006 (n.d. = non disponibile).

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	19.0	21.8	25.1	27	37	49
Primavera (marzo-maggio)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Estate (giugno-agosto)	21.1	26.1	31.2	24	51	66
Autunno (settembre-novembre)	19.3	23.0	26.3	29	52	71

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

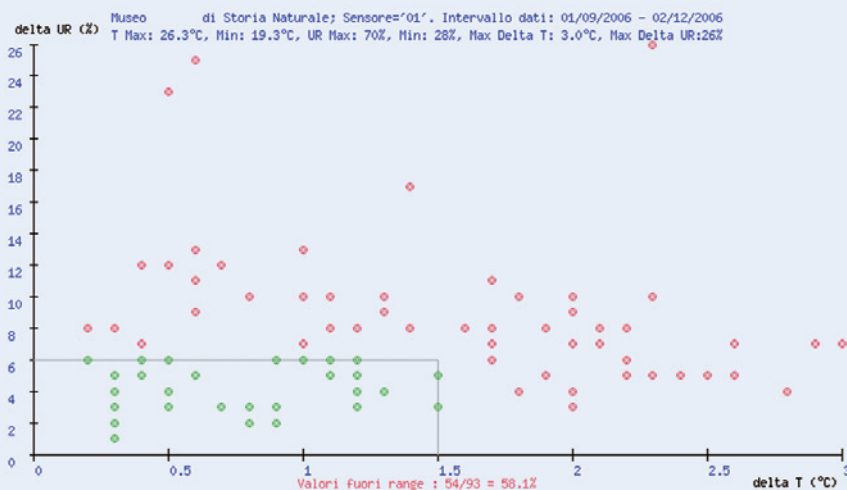
Collezioni entomologiche; animali ed organi anatomici essiccati; pellicce, piume animali ed uccelli impagliati. I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:



MATERIALI	T °C	UR %
Collezioni entomologiche	19-24	40-60
Animali ed organi anatomici essiccati	21-23	20-35
Pellicce, piume animali ed uccelli impagliati	4-10	30-50

PROBLEMATICHE

Tutto il materiale è conservato ed esposto all'interno di vetrine non climatizzate; i materiali conservati richiedono approssimativamente un range di umidità compreso fra il 30 e il 50%; poichè risulta che il 40% dei giorni nel periodo giugno-febbraio registrano valori di UR superiori al 50%, concentrati nel periodo estivo e autunnale, è necessario provvedere a deumidificare gli ambienti in questi periodi. Inoltre, la T e la UR subiscono in generale sensibili oscillazioni giornaliere in tutte le sale monitorate, come mostrato nel grafico. La maggior parte di queste escursioni giornaliere è dovuta al ricambio d'aria quotidiana che il personale del museo effettua alle otto della mattina e che nel periodo invernale determina un abbassamento della T di circa 2°C ed un corrispondente innalzamento della UR (15%).



SOLUZIONI

Per ridurre le escursioni termoigrometriche dovute al riscaldamento, si è suggerito di abbassare la T per portarla a valori più prossimi a 20°C. Inoltre si è suggerito di ridurre il tempo di apertura delle finestre per il ricambio d'aria le mattine d'inverno, in attesa di installare un auspicabile sistema forzato di ricambio dell'aria. Nei mesi estivi e autunnali viceversa è necessario deumidificare gli ambienti per portarli sotto al 50% di UR.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Discreta collaborazione del personale.

TIPOLOGIA • Museo

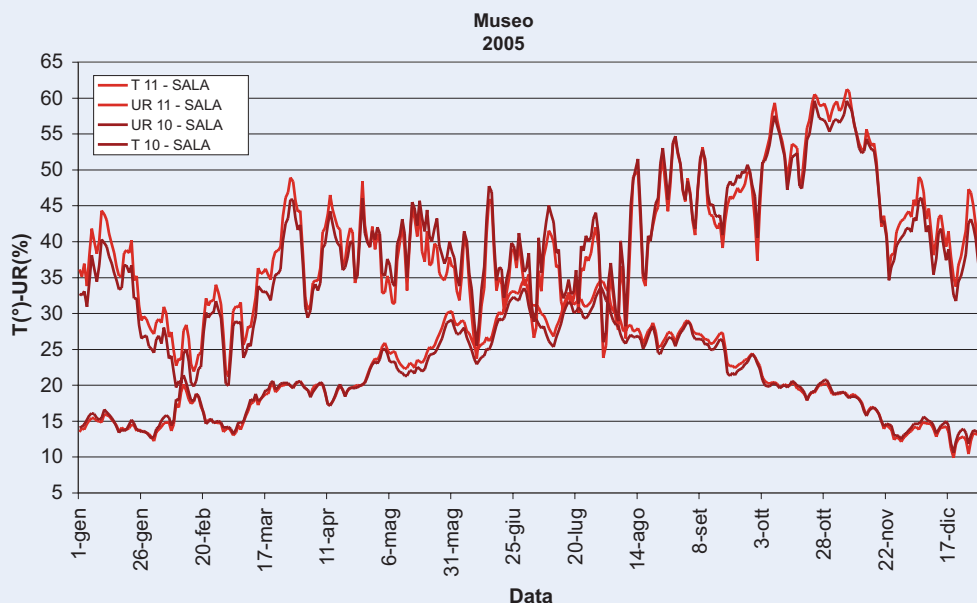
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Manufatti di carta, cartapesta, veline, tappezzerie; mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, fossili e collezioni di pietre; affreschi; pitture su tavola; pitture su tela; porcellane, ceramiche, gres, terracotta; sculture di legno non dipinte

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Edificio storico. Il museo si trova al secondo piano del palazzo

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Radiatori

NUMERO DI SALE MONITORATE • Dodici sale monitorate da tredici sonde T/UR

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



L'escursione termica rilevata durante l'anno è di 26°C e nel periodo estivo raggiunge valori superiori ai 36°C. L'UR si presenta eccessivamente bassa per buona parte dell'anno, ad eccezione del periodo autunnale.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	8.1	13.0	17.6	26	40	54
Primavera (marzo-maggio)	11.7	19.7	29.2	25	42	53
Estate (giugno-agosto)	20.5	29.8	36.7	16	34	56
Autunno (settembre-novembre)	14.7	21.3	31.9	24	48	61

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Manufatti di carta, cartapesta, veline, tappezzerie; mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, fossili e collezioni di pietre; affreschi; pitture su tavola; pitture su tela; porcellane, ceramiche, gres, terracotta; sculture di legno non dipinte. I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

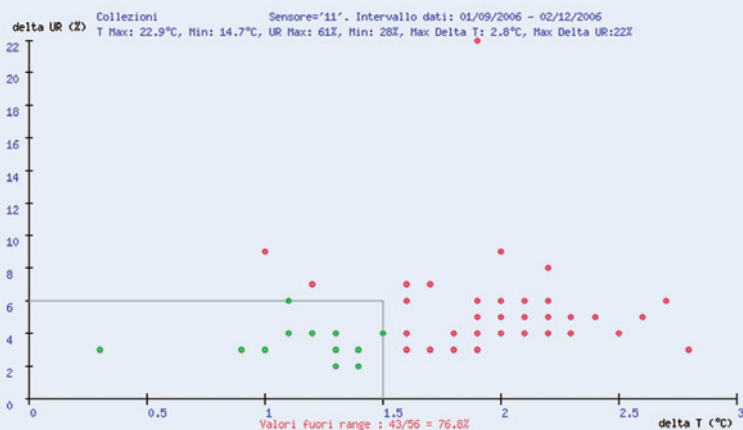


MATERIALI	T °C	UR %
Manufatti di carta, cartapesta, veline, tappezzerie	18-22	40-55
Mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, fossili e collezioni di pietre	15-25	20-60
Affreschi	10-24	55-65
Pitture su tavola	19-24	50-60
Pitture su tela	19-24	40-55
Porcellane, ceramiche, gres, terracotta	non rilevante	non rilevante
Sculture di legno non dipinte	19-24	45-60

PROBLEMATICHE

L'andamento termoisigrometrico del museo presenta forti escursioni giornaliere (giorno/notte) dovute ai cicli di accensione e spegnimento dell'impianto di riscaldamento (si veda grafico). Un punto critico è rappresentato da valori di UR eccessivamente bassi (ad eccezione del periodo autunnale) e viceversa T alta, soprattutto in estate (36°C). Questi valori rappresentano un rischio costante per la conservazione del materiale ligneo, largamente presente nel museo, e per i materiali cartacei.

I valori complessivamente bassi di UR durante tutto l'anno suggeriscono una cattiva calibrazione dei sensori.



SOLUZIONI

Si è suggerito di effettuare la manutenzione dei sensori in avaria e la taratura di tutti i sensori.

Si è suggerito inoltre di regolare l'impianto di riscaldamento invernale per una temperatura diurna più bassa di almeno 2 °C, affinché la UR aumenti.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Discreta collaborazione del personale.

TIPOLOGIA • Complesso museale adibito a Pinacoteca con spazi espositivi dedicati a mostre temporanee

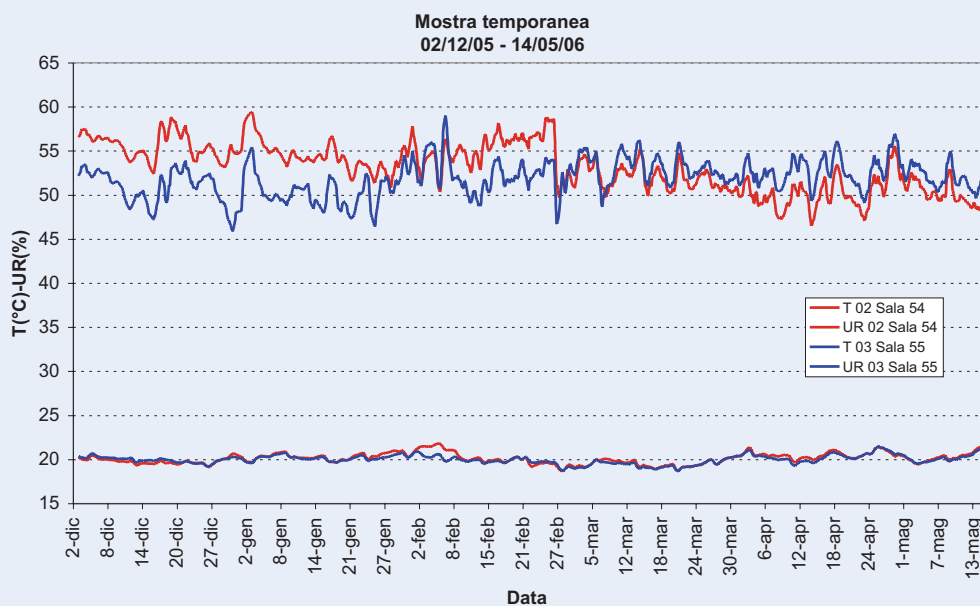
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Mostra temporanea: pitture su tela, pitture su tavola

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Edificio storico
• Mostra temporanea allestita al primo piano

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Riscaldamento radiante a pavimento
• Regolazione costante della UR
• Climatizzazione estiva

NUMERO DI SALE MONITORATE • Mostra temporanea: pitture su tela, pitture su tavola

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

Non si riportano i valori massimi e minimi stagionali in quanto l'ambiente è climatizzato ($T = 20 \pm 1^\circ\text{C}$, $UR = 55 \pm 5\%$)

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Pitture su tavola, pitture su tela

I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:

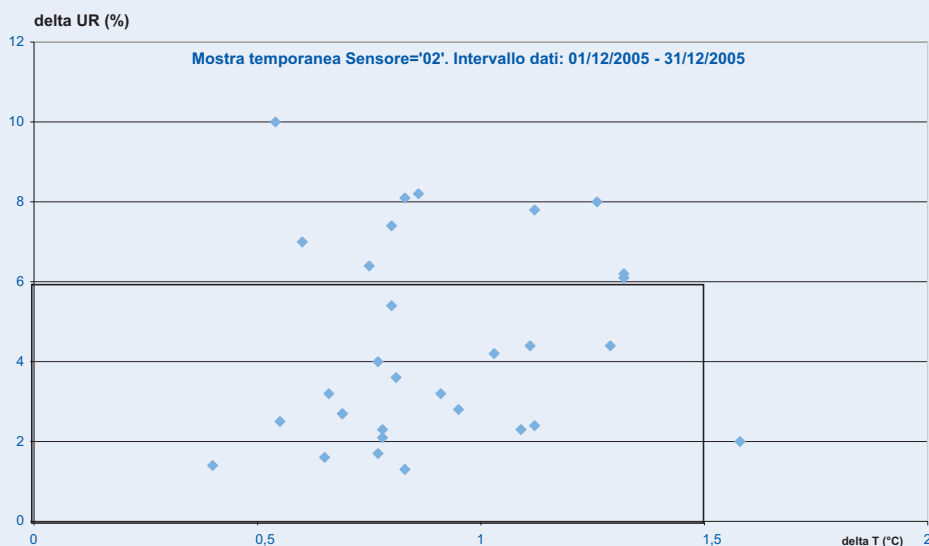


MATERIALI	T °C	UR %
Pitture su tavola	19-24	50-60
Pitture su tela	19-24	40-55

PROBLEMATICHE

Il monitoraggio microclimatico della mostra ha permesso il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- verifica delle condizioni termoigrometriche e di illuminazione e polveri sospese nei locali destinati alla mostra
- individuazione degli ambienti destinati al ricevimento e l'acclimatamento delle opere prestate
- correzione delle risposte del sistema di climatizzazione nelle sale espositive
- monitoraggio continuativo con riscontro giornaliero su tutto il periodo di mostra
- monitoraggio dell'impatto della presenza dei visitatori
- controllo delle condizioni ambientali nella fase di recupero e di risistemazione delle opere negli imballi
- dichiarazione di conformità delle condizioni ambientali per i musei prestatori.



SOLUZIONI

Sono state suggerite di volta in volta correzioni al sistema di climatizzazione al fine di conciliare la massiccia affluenza di visitatori alla mostra (35.000 presenze in 100 giorni) con il mantenimento di parametri ambientali ottimali per la conservazione dei materiali.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

- Ottimo livello di coinvolgimento e collaborazione di tutto il personale.
- La sensibilità e l'impegno delle persone e delle istituzioni coinvolte hanno permesso di trasformare il caso di studio in un prototipo di strategia della conservazione per le mostre temporanee.

TIPOLOGIA • Museo Archeologico

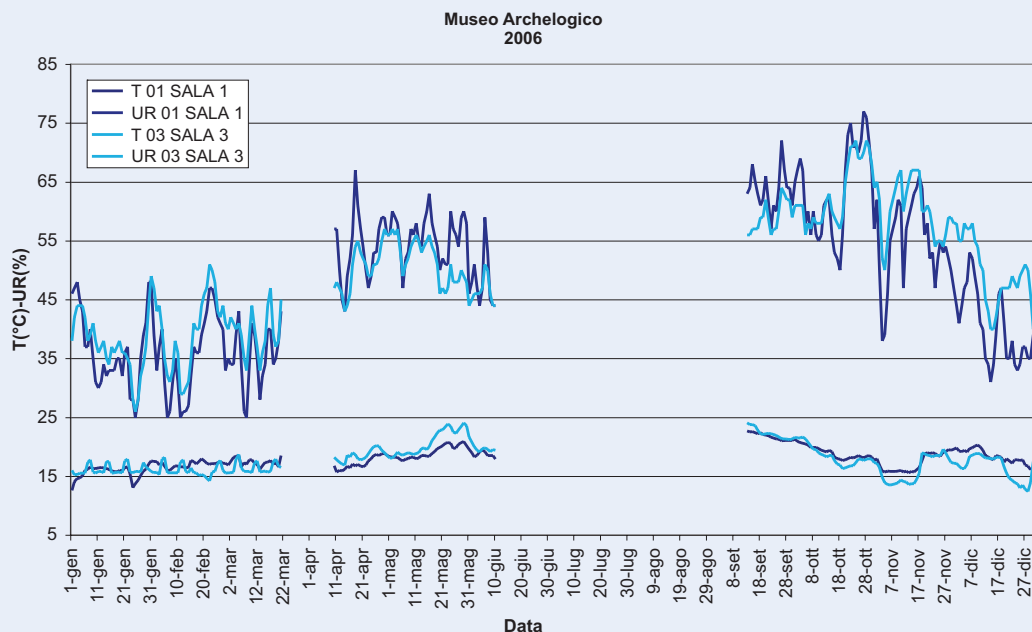
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Tessuti, oggetti in metallo, oggetti in legno, ceramiche

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Edificio storico (ex convento)
• Museo allestito tra il seminterrato, il piano terra e il primo piano

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Radiatori
• Deumidificatore in entrambe le sale monitorate

NUMERO DI SALE MONITORATE • Due sale monitorate da quattro sonde T/UR

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



Sensibili escursioni termoigrometriche per tutto il periodo. UR troppo bassa nel periodo invernale, troppo elevata nel periodo autunnale. Mancano i dati estivi.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	9.4	15.7	20.0	22	39	63
Primavera (marzo-maggio)	6.0	18.3	22.0	22	53	72
Estate (giugno-agosto)	17.2	18.8	20.2	39	48	65
Autunno (settembre-novembre)	14.9	19.0	23.6	32	60	80

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Tessuti, oggetti in legno.

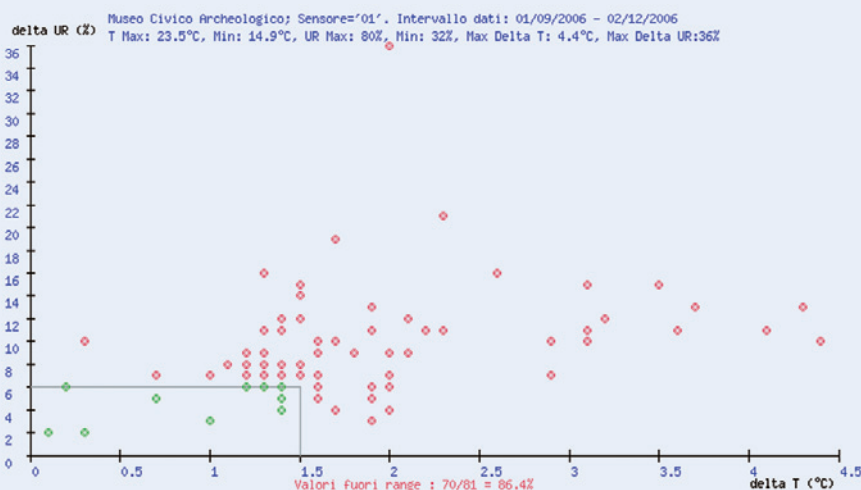
I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:



MATERIALI	T °C	UR %
Tessuti	19-24	30-50
Oggetti in metallo	non rilevante	< 50
Oggetti in legno	19-24	45-60
Ceramiche	non rilevante	non rilevante

PROBLEMATICHE

I materiali conservati nel museo sono esposti all'interno di vetrine che attenuano le forti oscillazioni termoigrometriche. La UR presenta valori eccessivamente bassi durante il periodo invernale. I dati del periodo estivo sono assenti a causa di ritardi nella riparazione della strumentazione in avaria. Nei mesi autunnali la UR registra valori elevati. Alcuni dei materiali conservati sono estremamente sensibili a queste eccessive variazioni (tessuti e legni).



SOLUZIONI

Si è suggerito di ridurre le escursioni termoigrometriche nei giorni di apertura del museo, impostando il riscaldamento su un valore non superiore ai 19°C. Inoltre è necessario prestare maggiore attenzione alla gestione dei deumidificatori, sostituendo via via i vecchi apparecchi con deumidificatori provvisti di umidostato.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

- Sufficiente livello di coinvolgimento del personale.
- Lentezze e ritardi nel procedere alla sostituzione del fusibile guasto da parte dell'ufficio tecnico comunale, problema risolto dopo 3 mesi dalla nostra segnalazione, con la conseguente perdita di dati per l'intero periodo estivo.

TIPOLOGIA • Pinacoteca

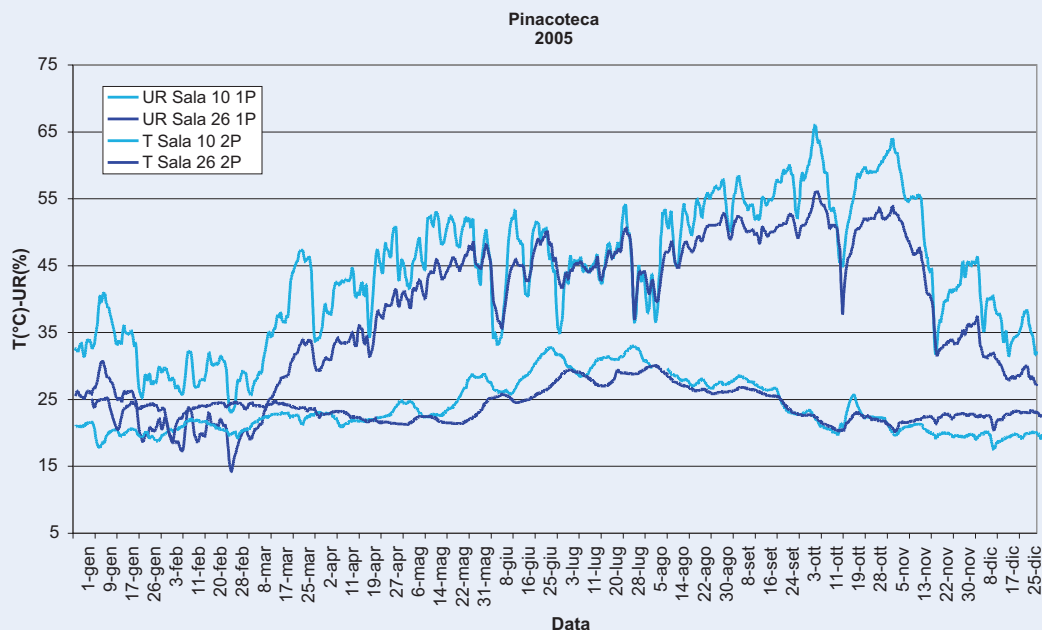
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Pitture su tela, pitture su tavola, sculture in marmo, mosaici

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Edificio storico
• Sale monitorate al primo e secondo piano

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Termoconvettori
• Condizionatori e deumidificatori estivi al primo piano

NUMERO DI SALE MONITORATE • Ventisette sale monitorate da trentadue sonde T/UR

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



L'andamento termoisgrometrico annuale mostra valori di T e UR generalmente non usuali in quanto le temperature sono elevate e l'umidità è eccessivamente bassa.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

STAGIONE	T MIN	T MED	T MAX	UR MIN	UR MED	UR MAX
Inverno (dicembre-febbraio)	16.9	20.0	23.1	22	34	48
Primavera (marzo-maggio)	18.0	22.7	29.1	21	41	56
Estate (giugno-agosto)	25.5	29.2	33.6	30	46	62
Autunno (settembre-novembre)	18.0	22.6	29.1	30	54	69

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Pitture su tela, pitture su tavola.

Ambienti a rischio: secondo piano, soggetto a forti escursioni termoigrometriche.

I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:



MATERIALI	T °C	UR %
Pitture su tela	19-24	40-55
Pitture su tavola	19-24	50-60
Sculture in marmo	< 30	45-60
Mosaici	15-25	20-60

PROBLEMATICHE

L'inusuale andamento termoigrometrico della Pinacoteca suggerisce malfunzionamenti dei sensori, che necessitano sicuramente di taratura. Una seconda ipotesi è la ricollocazione dei sensori in posizioni non idonee (esempio in prossimità di lampade o altre sorgenti di calore).

Per concludere, i dati attualmente disponibili permettono di formulare le seguenti ipotesi:

- 1) se i dati sono corretti, la situazione termoigrometrica generale non è idonea alla conservazione dei materiali
- 2) se i dati non sono attendibili, occorre effettuare una approfondita calibrazione del sistema di monitoraggio.

La nostra esperienza suggerisce la seconda ipotesi. In questo caso la disponibilità di dati non attendibili rende più difficoltosa l'analisi della situazione.

SOLUZIONI

- Si è ripetutamente suggerita la manutenzione dei sensori malfunzionanti.
- Si è suggerito di ridurre le escursioni termoigrometriche impostando il riscaldamento su un valore non superiore ai 20°C. In tal modo anche l'UR potrebbe salire a valori più idonei per la conservazione del materiale ligneo, largamente presente nelle sale monitorate.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

Sufficiente collaborazione del personale.

TIPOLOGIA • Pinacoteca

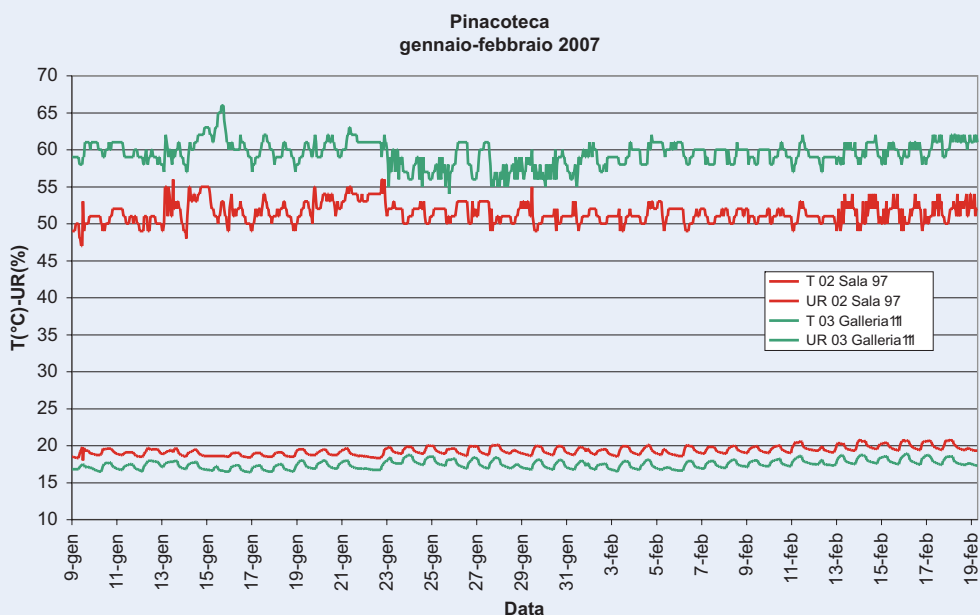
OGGETTI E MATERIALI CONSERVATI • Pitture su tela, pitture su tavola

STRUTTURA DELL'EDIFICIO • Edificio storico
• Pinacoteca di recente trasferimento e allestimento al primo piano dell'edificio

RISCALDAMENTO, CLIMATIZZAZIONE, DEUMIDIFICAZIONE • Riscaldamento con pannelli radianti a pavimento
• Controllo automatico della UR
• Climatizzazione estiva

NUMERO DI SALE MONITORATE • Sei sale monitorate da sei sonde T/UR, una sonda T/UT esterna

PROFILO MICROCLIMATICO DEL MUSEO



Andamento termoigrometrico entro i limiti raccomandati per una corretta conservazione dei materiali.

VALORI MASSIMI E MINIMI STAGIONALI

Non si riportano i valori massimi e minimi stagionali in quanto l'ambiente è climatizzato ($T = 20 \pm 1^\circ\text{C}$, $UR = 55 \pm 5\%$)

SALE E MATERIALI A RISCHIO MAGGIORE

Pitture su tela, pitture su tavola.

I valori consigliati dalla norma UNI 10829 e dal DM 10/05/01 per la conservazione dei materiali qui esposti sono i seguenti:



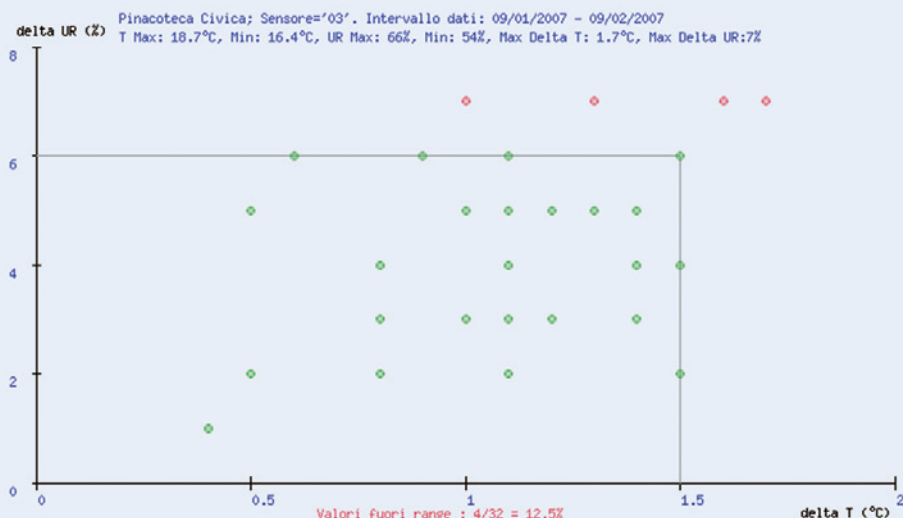
MATERIALI	T °C	UR %
Pitture su tela	19-24	40-55
Pitture su tavola	19-24	50-60

PROBLEMATICHE

La Pinacoteca è stata di recente trasferita dalla vecchia sede a quella attuale.

Il confronto dei parametri monitorati nella vecchia sede con i valori dei nuovi ambienti espositivi ha permesso di guidare il curatore museale nelle procedure di acclimatamento delle opere prima del loro definitivo allestimento.

L'impianto di climatizzazione, con l'ausilio dei dati provenienti dal monitoraggio microclimatico, riesce a contenere gli sbalzi termoigrometrici e assicurare un ambiente stabile sia per quanto riguarda la T che l'UR. Questo è un ottimo esempio dell'utilità del monitoraggio per gestire al meglio e in un'ottica di risparmio energetico l'intero impianto di riscaldamento/climatizzazione.



SOLUZIONI

- Procedure di acclimatamento delle opere.
- Consigli sulle modalità di esposizione delle opere (ad esempio: distanza minima da assicurare tra l'opera e il muro retrostante, per evitare ristagno d'aria e umidità).
- Controllo dei valori di illuminamento per il nuovo allestimento.

LIVELLO DI COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE NEL PROGETTO

- Ottimo livello di coinvolgimento e collaborazione di tutto il personale.

CAPITOLO

10



Scelta della strumentazione di monitoraggio



La richiesta di controllo dei parametri ambientali indoor, secondo le raccomandazioni e le norme in atto, esige decisioni da parte della direzione del museo relativamente a chi dovrà o potrà eseguire le misure richieste ovvero il museo stesso o un servizio esterno.

Nel primo caso, il museo dovrà formare degli operatori e dovrà acquisire la strumentazione necessaria per l'esecuzione delle misure e ciò implicherà la scelta della strumentazione e il reperimento dei relativi fondi per l'acquisto.

Abbiamo visto nei capitoli precedenti che le misure possono essere eseguite saltuariamente con strumentazione portatile, oppure in modo continuativo con strumentazione fissa e in entrambi i casi seguendo le procedure e le metodiche richieste. La ragione per la quale le misure debbono essere eseguite secondo procedure codificate è dovuta alla necessità che le misure abbiano il requisito della ripetibilità e cioè possano essere eseguite alla stessa maniera da altri operatori e siano quindi confrontabili.

Eseguire una misura vuol dire comprendere le informazioni che si producono.

Se non si conosce il significato dei dati generati, le misure diventano cose inutili e dispendiose che si accumulano nel tempo senza risultati pratici. I musei sono pieni di termoigrografi e di cartine diagrammate ordinatamente archiviate e rigorosamente inutilizzate. I dati raccolti infatti dovrebbero essere controllati e utilizzati immediatamente per ricavarne informazioni fresche e trarne conclusioni chiare. Compresa l'importanza di questi requisiti (conoscenza del significato delle misure, disponibilità di personale qualificato), possiamo prendere in considerazione i passi successivi e cioè quali misure desideriamo eseguire e con che tipo di strumentazione e metodica.

Il museo che si accinge a predisporre misure in proprio deve essere infatti in grado di valutare:

- il tipo e il numero di strumenti necessari
- la disponibilità e il costo del personale necessario alle misure
- la possibilità di calibrazione della strumentazione che viene utilizzata
- la capacità di elaborazione dei dati prodotti.

Oggi l'obiettivo delle misure ambientali all'interno dei musei e degli archivi non è la semplice caratterizzazione dell'ambiente come per tanto tempo è stato fatto e si continua a fare, ma la verifica delle condizioni del rischio di danno degli oggetti che sono presenti negli ambienti stessi; in altri termini, le misure sono un mezzo non un fine.

Due misure fondamentali ricorrenti nell'ambiente museale sono la misura di umidità relativa e la misura di temperatura che possiamo prendere come esempio per illustrare le considerazioni e le valutazioni che ci porteranno alla scelta degli strumenti da utilizzare. Queste considerazioni sono state schematizzate e trasformate nelle tabelle che seguono.

Tab. 10.1 – **CATEGORIE DI STRUMENTI DI MISURA DI UMIDITÀ E TEMPERATURA**



TIPO	LETTURA INSTANTANEA	REGISTRAZIONE DEI DATI
Chimici:	Carte indicatrici di umidità	
Meccanici:	Termoigrometro a quadrante	Termoigrografo (tamburo o disco): a molla, motorizzato
	Igrometri a fionda	
	Igrometri aspirati	
	Termometri (standard, massima e minima)	
Elettronici:	Termoigrometro con display digitale	Datalogger: autonomo, collegamenti via cavo, collegamenti via radio

Come possiamo vedere, gli strumenti per misurare temperatura e umidità possono essere chimici, meccanici ed elettronici. La scelta dipenderà dalle nostre esigenze e capacità di gestione dello strumento.

Un punto importante quanto la scelta degli strumenti è la disponibilità di metodi di calibrazione presso il museo per mantenere efficienti gli strumenti utilizzati. La mancanza di questa disponibilità ci costringerà a rivolgerci ad un servizio esterno richiedendo un controllo di calibrazione programmato.

Le attrezzature elencate di seguito e commentate in tab. 10.2 consentono la calibrazione degli strumenti che utilizzeremo correntemente nel museo.

- Misuratore di punto di rugiada (dewpoint)
- Camera umida con soluzioni saline sature
- Igrometri a fionda o aspirati.

Tab. 10.2 – **PUNTI DI FORZA E PUNTI DEBOLI DEI METODI DI CALIBRAZIONE**

STRUMENTO	FORZA	DEBOLEZZA
Misuratore del punto di rugiada	Accurato Fornisce misure assolute	Difficile da usare Fornisce una lettura che richiede interpretazione Non può essere usato vicino agli oggetti Costoso
Soluzioni di sali saturi in camera umida	Accurato	Difficile da usare I sali possono spargersi Possono contaminare oggetti e strumenti
Igrometro a fionda/o aspirato	L'accuratezza dipende dalla precisione dell'operatore.	L'igrometro aspirato è costoso Entrambi forniscono una lettura rapida

All'atto pratico gli strumenti dei quali abbiamo necessità possono essere scelti fra i tipi elencati nella tabella 10.3, valutandone i limiti riportati nella tabella 10.4.

Tab. 10.3 – **USO DEI DIVERSI STRUMENTI PER IL MONITORAGGIO DENTRO IL MUSEO**

STRUMENTO	USO
Igrometro aspirato	Lettura immediata nelle sale Calibrazione del termoigrografo meccanico
Datalogger (elettronico, via cavo)	Monitoraggio delle sale e delle vetrine da un punto centrale
Datalogger (elettronico, autonomo)	Monitoraggio delle sale e delle vetrine
Datalogger (elettronico, via radio)	Monitoraggio flessibile di sale e vetrine da punti esterni
Carta indicatrice di umidità	Indicazione chimica della umidità in piccole teche e vetrine
Termoigrometro (a quadrante)	Misura non registrata all'interno di sale e contenitori
Termoigrometro (elettronico con display digitale)	Lettura immediata in sale e vetrine, ma richiede una calibrazione. Gli economici non sono accurati
Termoigrografo meccanico	Monitoraggio diretto nelle sale e registrato su carta Lettura immediata del massimo e del minimo
Termometro (massima e minima)	Lettura immediata
Termometro (standard)	Lettura rapida nelle sale
Igrometro a fionda	Calibrazione del termoigrometro

Tab. 10.4 – **PUNTI DI FORZA E PUNTI DEBOLI DI CIASCUN TIPO DI STRUMENTO**



STRUMENTO	FORZA	DEBOLEZZA
Igrometro aspirato	Costi medi Risultati affidabili Accurato Disponibile batteria/orologio	Difficile da leggere Facile da danneggiare Contiene mercurio Grande e pesante Richiede regolari controlli Richiede acqua distillata Fornisce solo letture rapide
Dataloggers (elettronico, via cavo)	Costi medi Può tenere una buona calibrazione Può essere usato in ambienti vicini Permanentemente connesso al computer	Installazione dei cavi difficoltosa Sistema non flessibile
Dataloggers (elettronico, autonomo)	Costi medio bassi Tiene una buona calibrazione Può essere usato in ambienti vicini Può essere facilmente spostato	Richiede connessione a PC per scaricare i dati
Dataloggers (elettronico, radio)	Tiene una buona calibrazione Può essere usato in ambienti vicini Invia continuamente i dati I sensori possono essere facilmente posizionati nelle vicinanze	Costi aggiuntivi del trasmettitore e del ricevitore Il segnale radio può subire interferenze
Carte indicatrici di umidità	Molto economiche Possono essere lette attraverso pareti trasparenti	Scala di lettura limitata Errori quando invecchiano Difficili da interpretare
Termoigrometro (quadrante)	Facile da leggere Basso costo Può essere usato in ambienti vicini	Perde facilmente la calibrazione Solo per misure spot Può essere ingombrante Risposta lenta
Termoigrometro (elettronico con display digitale)	Facile da leggere Può tenere una buona calibrazione Può essere usato in ambienti vicini Risposta rapida	Può essere ingombrante Solo per misure spot
Termoigrografo meccanico	Costo medio Facile da interpretare Può essere letto istantaneamente Facile da calibrare	Perde facilmente la calibrazione Si asciugano gli inchiostri Sente le vibrazioni La cartina fa più giri Può essere complesso da leggere Risposta lenta
Termometro (massimo/minimo)	Basso costo Facile da leggere Registra la massima e la minima	Facile da rompere Contiene mercurio
Termometro (standard)	Basso costo Facile da leggere	Facile da rompere Contiene mercurio Solo misure spot
Igrometro a fionda	Basso costo Accurato (dipende dall'operatore)	Difficile da leggere Facile da rompere Contiene mercurio Richiede sforzi fisici Può essere inaffidabile Richiede acqua distillata Solo misure spot

Sulla base delle tabelle presentate dovrete essere in grado di decidere sul da farsi per l'acquisto della strumentazione necessaria alle misure termoigrometriche. La stessa procedura può essere utilizzata per la valutazione di altri tipi di misure e di strumentazione.

Indipendentemente dal tipo di misura, possiamo suddividere gli strumenti per tipo di utilizzo all'interno del museo:

- strumenti per misure istantanee senza memorizzazione
- strumenti per brevi campagne di misura (alcune ore)
- mini datalogger per lunghe campagne di misura (mesi)
- datalogger per misure continue

Allo scopo di fornire le caratteristiche, dette specifiche, dei vari tipi di strumenti, sono state redatte le tabelle riportate di seguito. Le specifiche dovrebbero facilitarvi nella ricerca dello strumento adatto o più semplicemente nelle richieste da porre al venditore di strumentazione.

Un suggerimento: prima di interpellare il venditore, 1) cercate di documentarvi dopo aver focalizzato le vostre esigenze; 2) chiedete consiglio ad una persona esperta che già conoscete.

L'offerta commerciale di strumenti è oggi notevole e in continuo aumento. Purtroppo poche sono le case produttrici, molti i rivenditori e moltissimi gli agenti di commercio che spesso non conoscono bene il prodotto che stanno vendendo. Impegnarsi per un buon acquisto è sempre un buon investimento.

STRUMENTI PER MISURE ISTANTANEE SENZA MEMORIZZAZIONE: la misura viene effettuata attivando lo strumento generalmente posto su un piano di appoggio, leggendo i valori e trascrivendoli su un taccuino.



STRUMENTO TERMOIGROMETRO					
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Temperatura aria (°C)	Pt100 ClassA	da -20 a 80°C	±2% rdg + 0,3°C	NO	B 9V
Umidità Relativa (%)	capacitivo	5% a 95%	±2%rdg + 2,5%RH		
COMMENTO SINTETICO: Termoigrometro portatile con buona precisione nella misurazione della T/UR da utilizzarsi nella verifica delle condizioni microclimatiche istantanee..					



STRUMENTO TERMOMETRO a Infrarossi con puntatore laser					
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Temperatura superficie (°C)	Termometro ad infrarosso	-20 a 270°C	± 3%		B 9V
COMMENTO SINTETICO: Strumento per ispezione temperatura di contatto con impugnatura a pistola. Il valore di emissione di questo misuratore di temperatura senza contatto è fissato a 0,95 e con quello si ricopre il 90 % delle misurazioni. Peccato che non sia regolabile l'emissività.					



STRUMENTO	TERMOMETRO TEMPERATURA DI SUPERFICIE				
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Temperatura aria (°C)	termocoppie tipo K	da -200 a 1300°C	±2%rdg + 1°C	NO	B 9V
Temperatura di superficie (°C)	termocoppie tipo K	-200 a 1300°C	±2%rdg + 1°C		
COMMENTO SINTETICO: Termometro portatile con sonda per la misura della superficie a contatto. La scala eccessivamente ampia non consente una misurazione sufficientemente precisa per l'utilizzo nei beni culturali. Il suo impiego è valido nel settore ambientale/industriale ma non è utilizzabile in ambito conservativo.					



STRUMENTO	ANEMOMETRO A FILO CALDO				
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Temperatura aria (°C)	Pt100 ClassA	da -20 a 80°C	±2% rdg + 0,3°C	NO	B 9V
Velocità aria (m/sec)	termoresistenza	0,3 a 30 m/s	±3% rdg + 0,2m/s		
COMMENTO SINTETICO: Anemometro portatile con buona precisione nella misurazione delle correnti d'aria da utilizzarsi nella verifica dei flussi o durante campionamenti aerobiologici.					



STRUMENTO	LUXMETRO				
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
illuminamento (lux)	Fotodiodo con filtro e correzione del colore CIE	0 ... 50.000 lux in 3 campi	5 %		B 9V



STRUMENTO	MISURATORE DI RADIAZIONE UV				
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
UVA/B (µW/cm²)	fotodiodo con filtro correttore di UV	0..200 µW/cm² 0..2.000 0..20.000	2 %	Min-Max-Hold	B 9V
COMMENTO SINTETICO: Questo misuratore di radiazione lavora con una lunghezza d'onda di 365 nm. e può misurare per esempio le radiazioni UVA del sole.					



STRUMENTO						
FONOMETRO						
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)	
Decibel (dB)	microfono	30-130 dB	± 1,5 dB	Uscita VCC	B 9V	

STRUMENTI PER BREVI CAMPAGNE DI MISURA (ALCUNE ORE): sono strumenti elettronici di piccole dimensioni. I dati registrati su memoria digitale vengono successivamente trasferiti sul PC.



STRUMENTO		MULTIACQUISITORE			
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Tra i parametri misurabili: temperatura, temperatura contatto, umidità, illuminamento, radianza, luminanza, ultravioletti, temperatura di colore, velocità aria. Gas: CO ₂ , O ₃ , SO ₂ , NO ₃				250.000	R 12V B 9V
COMMENTO SINTETICO: Strumento portatile dotato di display, cavi di collegamento e programmi per gestione dati su PC. Alimentatore per collegarsi alla rete elettrica e batteria interna (la durata delle batterie è bassa e dipende dalle sonde utilizzate).					



STRUMENTO		SONDE PER MULTIACQUISITORE	
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione
Temperatura aria (°C)	Pt100	-50 a 70°C	± 0,15°C a 0 °C
Umidità Relativa (%) Psicrometro	T Aria (-5..+60 °C) T Bulbo umido (idem) 2 Pt100 1/3 Din	0% a 100%	± 2%
Temperatura di superficie (°C)	Pt100	-50 a 70°C	± 0,15°C a 0 °C
Illuminamento (lux)	cella al silicio	0..100Klux	3% V.L.
Radianza (watt/m²)	termopila	0..1500W/m2	0,5% V.L. +5Wm2
Luminanza (cd/m²)	cella al silicio	0..60.000 µW/m2	5% V.L.
Radiometro UVA	termopila	0 20 W/m2	0,5% VL +0,01Wm2
Velocità aria (m/sec)	filo caldo	0..50 m/s	3%
CO ₂ (µg/m³)	cella ad assorbimento di infrarosso	0..30.000 ppm	3%
O ₃ (µg/m³)	cella elettrochimica	0..3 ppm	5%
SO ₂ (µg/m³)	cella elettrochimica	0..20 ppm	2%
NO ₂ (µg/m³)	cella elettrochimica	0..20 ppm	2%

COMMENTO SINTETICO: Breve lista di sonde che possono essere utilizzate con il multiacquisitore portatile.

MINI DATALOGGER PER LUNGHE CAMPAGNE DI MISURA (MESI): questi strumenti vengono sistemati e abbandonati per periodi sufficientemente lunghi per poter acquisire un significativo numero di misure in un luogo specifico. Sono generalmente di piccolissime dimensioni e hanno lunga autonomia. Al termine del periodo di misure vengono collegati al PC per il trasferimento dei dati acquisiti.



STRUMENTO		TERMOIGROMETRO MINI DATALOGGER con sensori interni			
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Temperatura aria (°C)	Idrometrico NTC	da -20 a 70°C	± 0,2°C	48.000	B 1 AA
Umidità Relativa (%)	Capacitivo	0% a 100%	± 3%		
Temperatura di rugiada	Calcolata	da -40 a 70°C	± 0,2 °C da -25 a +70 °C; ± 0,4 °C; nel campo rimanente		
Temperatura di contatto con sonda esterna (°C)	Sonda esterna	da -40 a +120°C	± 0,2 °C; da -25 a +70 °C ± 0,4 °C; nel campo rimanente		
COMMENTO SINTETICO: Dotato di cavo e di software di connessione per trasferire i dati ad un pc per l'elaborazione. Strumento per monitoraggio continuo, economico indicato per campagne di misura preventive.					



STRUMENTO		MINI DATALOGGER MULTIAQUISITORE			
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Temperatura aria (°C)	Idrometrico NTC	da -50 a 70°C	± 0,5°C	16.000	B 1 AA
Umidità Relativa (%)	Capacitivo	0% a 100%	± 3%		
Temperatura di rugiada	Calcolata	da -50 a +50°C	± 0,5 °C		
Temperatura di contatto con sonda esterna (°C)	Sonda esterna NTC	da -50 a +50°C	± 0,5 °C		
Velocità aria (m/s)	Filo caldo-ventolina	0 – 40m/s	± 0.03 m/s		
COMMENTO SINTETICO: Dotato di cavo e di software di connessione per trasferire i dati ad un pc per l'elaborazione. Strumento per monitoraggio continuo, economico e indicato per campagne di misura preventive.					



STRUMENTO MINI DATALOGGER PER MISURE UV					
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
UV (mW/cm ²)	Diodo fotometrico schermato 250..400 nm Correzione del coseno	0-5000 mW/cm ²		8000	B 3,6V litio Durata oltre 5 anni

COMMENTO SINTETICO: Strumento per monitoraggio continuo, molto compatto (65 gr 7x7x3 cm) indicato per monitoraggio della radiazione UV. Step da 1, 5, 15, 30, 60 minuti.



STRUMENTO MINI DATALOGGER LUXMETRO					
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
illuminamento (lux)	Fotodiodo	0-200 lux 0-2.000 lux 0-20.000 lux 0-100.000 lux	4 %	16000	R B 4 AA

COMMENTO SINTETICO: Strumento portatile per campagne di controllo o come datalogger. Dotato di connessione a PC e di software per la gestione dei dati.



STRUMENTO MINI DATALOGGER PER URTI DURANTE I TRASPORTI					
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Accelerazione	Accelerometro	+/- 5 g su tutti gli assi		1400 eventi	B 3,6V litio Durata oltre 5 anni

COMMENTO SINTETICO: Strumento compatto utilizzabile durante i trasporti per documentare urti e ribaltamenti dell'opera d'arte.

DATALOGGER PER MISURE CONTINUE: questi strumenti vengono utilizzati come sistemi o reti di misura per il monitoraggio fisso e continuo all'interno del museo. Sono formati da un datalogger, detto anche acquisitore o centralina a cui vengono collegati i sensori, via cavo o via radio, che possono essere numerosi e di vario tipo. I dati memorizzati dal datalogger possono essere utilizzati localmente con un collegamento a PC o in remoto tramite trasmissione via modem ad un elaboratore situato lontano dal museo. In questo caso i dati elaborati possono essere consultati tramite un sito web riservato.



STRUMENTO DATALOGGER CON SENSORI CORDLESS CON TRASMISSIONE LOCALE DEI DATI					
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete (R) Batteria (B)
Temperatura aria (°C)	PT100	da -30 a 70°C	± 0,6°C	16000	R
Temperatura di superficie (°C)	Termistore o Pt100	da -50 a 100°C	± 1°C		
Umidità Relativa (%)	Capacitivo	0% a 100%	± 3%		
Illuminamento (lux)	Fotodiodo	0-5000 lux	± 25 % v.l.		

COMMENTO SINTETICO: Datalogger in grado di misurare T/UR; possiede inoltre un ingresso per misurare Temperatura di superficie o luminosità con sonda esterna oppure qualsiasi altro segnale elettrico. Al datalogger si può aggiungere un trasmettitore per trasmettere i dati ad un PC locale (50-300 m) dotato di software di gestione dati. Il sistema non consente trasmissione remota dei dati rilevati. Letture non molto precise.



STRUMENTO DATALOGGER CON SENSORI "AIR QUALITY" VIA CAVO E TRASMISSIONE REMOTA DEI DATI					
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione dati	alimentazione Rete Batteria
Temperatura aria (°C)	PT100	da -30 a 70°C	± 0,3°C	Datalogger	R
Umidità Relativa (%)	capacitivo	0% a 100%	± 1,5%		
Concentrazione CO ₂ (µg/m ³)	IR	0-2000ppm	± 10		
Concentrazione O ₃ (µg/m ³)	sensore a film spesso	20 -500	± 10		
Concentrazione SO ₂ (µg/m ³)	sensore a film spesso	0-10.000	± 10		
Concentrazione NO ₂ (µg/m ³)	sensore a film spesso	0-500	± 10		
Concentrazione di polveri (p/m ³) e Concentrazione del PTS (µg/m ³)	nefelometro	0-1000	0.1		
Concentrazione CO (mg/m ³)		0-100 mg/m3	ND		
Concentrazione del PM10 (µg/m ³)	nefelometro	0-1000	0.1		
Velocità aria (m/s)	anemometro		± 5% f.s.		

COMMENTO SINTETICO: Questo datalogger permette di monitorare fino a 10 parametri con sonde collegate via cavo. La possibilità di poterlo interfacciare ad un modem (GSM) permette di seguire l'andamento della qualità dell'aria all'interno del museo o in prossimità del bene culturale. Il sistema non supporta sensori cordless.



STRUMENTO		DATALOGGER CON SENSORI VIA CAVO E TRASMISSIONE REMOTA DEI DATI			
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione e gestione archivio locale	alimentazione Rete Batteria
Temperatura aria (°C)	Pt100	da -30 a 70°C	± 0,3°C	Datalogger	R
Temperatura di superficie (°C)	Termistore o pt100	da -30 a 70°C	± 0,1°		
Umidità Relativa (%)	Capacitivo	0% a 100%	± 1,5%		
Illuminamento (lux)	Fotodiodo	0-200Klux f.s.	± 3% v.l.		
Radianza (watt/mq)	Termopila o fotodiodo	0-1500 W/m²	1% o 3% v.l.		
Luminanza (cd/m²)	Fotodiodo	0-40 K cd/m²	± 3% v.l.		
Velocità aria (m/s)	Piezoresistivo	0-10 m/s	± 5% f.s.		
Concentrazione CO ₂ (µg/m³)	NDIR	0-2000 ppm	± 1% f.s.		

COMMENTO SINTETICO: questo datalogger permette di monitorare fino a 140 parametri con sonde collegate via cavo. La possibilità di poterlo interfacciare ad un modem (GSM) permette di seguire piccoli musei o singole opere; può inviare SMS. Il sistema non supporta sensori cordless.



STRUMENTO		DATALOGGER CON SENSORI CORDLESS E TRASMISSIONE REMOTA DEI DATI			
parametro	Tipo sensore	scala di misura	precisione	registrazione e gestione archivio locale	alimentazione Rete Batteria
Temperatura aria (°C)	Pt100	da -30 a 70°C	± 0,3°C	Datalogger	R
Temperatura di superficie (°C)	Termistore o pt100	da -30 a 70°C	± 0,1°		
Umidità Relativa (%)	Capacitivo	0% a 100%	± 1,5%		
Illuminamento (lux)	Fotodiodo	0-200Klux f.s.	± 3% v.l.		
Radianza (watt/mq)	Termopila o fotodiodo	0-1500 W/m²	1% o 3% v.l.		
Luminanza (cd/m²)	Fotodiodo	0-40 K cd/m²	± 3% v.l.		
Velocità aria (m/s)	Piezoresistivo	0-10 m/s	± 5% f.s.		
Concentrazione CO ₂ (µg/m³)	IR	0-2000 ppm	± 1% f.s.		

COMMENTO SINTETICO: Sistema distribuito con trasmissione radio dei parametri rilevati, frequenza di trasmissione 433 MHz, max 192 sensori collegabili. La centralina può essere interrogata via cavo o da remoto con modem GSM.



USO DELLO PSICROMETRO

Lo psicrometro è lo strumento che misura per via indiretta l'umidità relativa dell'aria. Lo strumento è costituito da due termometri di precisione inseriti in condotti di aspirazione e da una ventola azionabile a molla. Uno dei due termometri ha il bulbo coperto da una calza di tessuto che viene bagnato. La misura viene fatta caricando la molla della ventola che produce sui termometri un flusso d'aria di 4 metri al secondo. Dopo aver lasciato funzionare la ventola per alcuni minuti, viene letta la temperatura nei due termometri: la temperatura del bulbo asciutto è quella dell'aria in quel momento; la temperatura del bulbo bagnato sarà generalmente inferiore, se non ci troviamo in condizioni di umidità 100%. Il valore dell'umidità relativa viene ricavato da un'apposita tabella attraverso il valore del bulbo bagnato e della differenza fra le due temperature.

Tab A.1 - **TABELLA PSICROMETRICA**

T° del bulbo bagnato	DIFFERENZA TRA LE TEMPERATURE DEI DUE BULBI											
	1/2	1	11/2	2	21/2	3	31/2	4	41/2	5	51/2	6
2	90	83	75	67	61	54	47	42	36	31	26	23
3	90	83	76	69	63	56	49	44	39	34	29	26
4	91	84	77	70	64	57	51	46	41	36	32	28
5	91	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30
6	92	85	78	72	66	61	56	50	45	41	35	33
7	92	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35
8	92	86	80	74	68	63	58	54	49	45	41	37
9	93	86	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39
10	94	87	82	76	71	66	61	57	53	48	45	41
11	94	88	82	77	72	67	62	58	55	50	47	43
12	94	88	82	78	73	68	63	59	56	52	48	44
13	94	89	83	78	73	69	64	61	57	53	50	46
14	94	89	83	79	74	70	66	62	58	54	51	47
15	94	89	84	80	75	71	67	63	59	55	52	49
16	95	90	84	80	75	72	67	64	60	57	53	50
17	95	90	84	81	76	73	68	65	61	58	54	52
18	95	90	85	81	76	74	69	66	62	59	56	53
19	95	91	85	82	77	74	70	66	63	60	57	54
20	95	91	86	82	78	75	71	66	64	61	58	55
21	95	91	86	83	79	75	71	68	65	62	59	56
22	95	91	87	83	79	76	72	69	65	63	60	57
23	96	91	87	83	80	76	72	69	66	63	61	58
24	96	92	88	84	80	77	73	70	67	64	62	59
25	96	92	88	84	81	77	74	70	68	65	63	59
26	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	63	59
27	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	63	59
28	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	63	60
29	96	92	88	84	81	77	74	72	69	66	63	60
30	97	93	89	85	82	78	75	72	69	66	64	60
31	97	93	89	85	82	78	75	72	69	66	64	61
32	97	93	89	85	82	78	75	72	70	67	64	61
33	97	93	89	85	82	78	75	72	70	67	64	62
34	97	93	89	85	82	78	75	72	70	67	65	62
35	97	93	89	85	82	78	75	72	70	67	65	62
36	98	94	90	86	83	79	76	73	71	68	65	63
37	98	94	90	86	83	79	76	73	71	68	66	63
38	98	94	90	86	83	79	76	73	71	68	66	63
39	98	94	90	87	83	80	77	74	72	69	67	64
40	98	95	90	87	83	80	77	74	72	69	67	64

GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA

Vengono riportate le grandezze e le relative unità di misura utilizzate nei capitoli precedenti e secondo il Sistema Internazionale (SI).

Tab. B.1 – **USO DEI DIVERSI STRUMENTI PER IL MONITORAGGIO DENTRO IL MUSEO**



GRANDEZZA	SIMBOLO DELLA QUANTITÀ	NOME DELL'UNITÀ SI	SIMBOLO DELL'UNITÀ SI
Temperatura	T	grado Celsius	°C
Umidità relativa	UR	percentuale	%
Umidità assoluta	UA	grammi per metro cubo	g/m ³
Umidità specifica	US	grammi per chilo	g/kg
Velocità aria	v	metri al secondo	m/s
Luminanza		candela per metro quadro	cd/m ²
Illuminamento	E	lux	lx
Radianza	L	watt per metro quadro	W/m ² , μW/cm ²
Flusso luminoso		lumen	lm
Potenza, flusso radiante	P, W	watt	W
Rumore		decibel	db
Vibrazione		millimetri al secondo quadrato	mm/s ²
Concentrazione Gas	parti per milione		ppm
	parti per miliardo		ppb
	milligrammi per metro cubo		mg/m ³
	microgrammi per metro cubo		μg/m ³
Concentrazione polveri	particelle per metro cubo		p/m ³
PM10	microgrammi per metro cubo		μg/m ³
Concentrazione aerosol biologico	unità formanti colonia per metro cubo		UFC/m ³

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

CAPITOLO 1

Il microclima del museo

- 1)** AGHEMO C., AZZOLINO C., 1995: *Illuminazione naturale: metodi ed esempi di calcolo*. Ed. Celid, Torino
- 2)** AGHEMO C., FILIPPI M., PRATO E., 1994: *Condizioni Ambientali per la Conservazione dei Beni di Interesse Storico Artistico*. Comitato Giorgio Rota, Torino
- 3)** AIDI - Associazione Italiana di Illuminazione, 1995: *Atti del Convegno Nazionale sull'Illuminazione dei beni culturali*, Ancona
- 4)** AIDI - Associazione Italiana di Illuminazione, 1999: *Manuale di illuminotecnica*. Tecniche Nuove, Milano
- 5)** APPLEBAUM B., 1999: *Guide to Environmental Protection of Collections*. Madison, CT: Sound View Press
- 6)** ARAMINI F., 1998: Illuminazione e microclima. In *Materiali per l'aggiornamento nel restauro*. ICR, Edizioni De Luca, Roma
- 7)** ASHRAE, 2003: Museums, Libraries, and Archives. Chapter 21. In *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Applications*. ASHRAE Handbook. Atlanta
- 8)** ASHRAE STANDARDS 55-81: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- 9)** BAER N.S., BANKS P.N., 1985: Indoor air pollution effects on cultural and historic materials. In *The international journal of museum managements and curatorship*, 4, pp. 9-20
- 10)** BALDASSARI F., 1998: L'illuminazione di sicurezza e di riserva. *Luce* n°6, ottobre 1998
- 11)** BERNARDI A., VINCENZI S., 1993: Modelling Daily Thermal Cycles in the Trajan Column. *The Science of the Total Environment*. 128, 257-267
- 12)** BERNARDI A., VINCENZI S., 1994: Diurnal Variation of Solar Radiation on Differently Oriented Surfaces of Monuments. *Il Nuovo Cimento*. 17C, 4, 431-442
- 13)** BERNARDI A., BOSSI F., VILLANTI S., 1999: Contribution towards a "preservative" architecture. Analyses of the microclimate of the National Library "Marciana"-Venice. *International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials*. Erice 22-29 April, Palumbo ed., 111-124
- 14)** BERNARDI A., CAMUFFO D., 1995: Microclimate in the Chiericati Palace Municipal Museum, Vicenza. *Museum Management and Curatorship*, Vol. 14, N. 1, March 1995, pp. 5-18 (14). Elsevier
- 15)** BERNARDI A., 2003: *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*. Il prato, Padova, 143 pp.
- 16)** BRILL T.B., 1980: *Light, its interaction with art and antiquities*, Plenum Press, New York
- 17)** BRIMBLECOMBE P., 1990: The composition of museum atmospheres. *Atmospheric environment*, 24B, 1, pp. 1-8
- 18)** BRIMBLECOMBE P., BLADES N., CAMUFFO D., STURARO G., VALENTINO A., GYSELS K., VAN GRIEKEN R., BUSSE H.J., WIESER M., KIM O., ULRICH U., 1999: The indoor environment of a modern museum building, the Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich, UK, *Indoor Air*, 19, 146-164
- 19)** CAMUFFO D., BERNARDI A., 1991: The Microclimate of Leonardo's "Last Supper". Joint Edition *Bollettino Geofisico and European Cultural Heritage Newsletter on Research*, Spec. Vol. XIV, 3, 1-123
- 20)** CAMUFFO D., BERNARDI A., 1995: The Microclimate in the Sistina Chapel. Joint. Edition *Bollettino Geofisico and European Cultural Heritage Newsletter on Research*. Vol. Spec., 9, 1-32
- 21)** CAMUFFO D., BERNARDI A., 1986: Dinamica del microclima e scambi termoigrometrici tra pareti e atmosfera interna nella Cappella Sistina. *Bollettino Monumenti Musei e Gallerie Pontificie*. IV, 211-257
- 22)** CAMUFFO D., BERNARDI A., 1987: *Processi fisici nel degrado del patrimonio artistico*. Il Nuovo Saggiatore, 2, 3, 71-80
- 23)** CAMUFFO D., BERNARDI A., 1997: Il microclima nella Cappella Sistina. In *Michelangelo e la Cappella Sistina*. Ed. Giacometti, Treviso
- 24)** CAMUFFO D., 2007: *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali*. Electa Mondadori, 240 pp.
- 25)** CAMUFFO D., 1990: Ambienti e Musei. Microclimatologia di ambienti chiusi e conservazione di opere pittoriche. In *Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei. Giornata dell'Ambiente*, 82, pp. 157-166
- 26)** CAMUFFO D., BERNARDI A., 1985: *Fattori microclimatici e conservazione dei beni artistici*, Brescia
- 27)** CAMUFFO D., BERNARDI A., 1996: Il condizionamento estivo nei musei: il Museo Correr (Venezia), la Galleria degli Uffizi (Firenze) e il Museo del Louvre (Parigi). *1st Intern. Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*. Luxograph, Palermo, pp. 1679-1685
- 28)** CAMUFFO D., 1991: Environment and Microclimate. pp. 37-50 In BAER N.S., SABBIONI C., SORS A. (editors), *Science Technology and European Cultural Heritage*. Butterworth, Oxford.
- 29)** CAMUFFO D., 1998: *Microclimate for Cultural Heritage*. Elsevier, Amsterdam, 415 pp.
- 30)** CAMUFFO D., BERNARDI A., STURARO G., VALENTINO A., 2002: Microclimatic conditions inside the Pollaiuolo and Botticelli Rooms in the Uffizi Gallery. Florence. *Science and Technology for Cultural Heritage*. 2, 155-162
- 31)** CAMUFFO D., VAN GRIEKEN R., BUSSE H.J., STURARO G., VALENTINO A., BERNARDI A., BLADES N., SHOOTER D., GYSELS K., DEUTSCH F., WIESER M., KIM O., ULRICH U., 2001: Environmental Monitoring in Four European Museums. *Atmospheric Environment*, 35,1, S127-S140
- 32)** CASSAR M., 1995: *Environmental Management*. Routledge. 165 pp
- 33)** CASTELLANO A., MARTINI M.,

SIBILLA E. (ED.), 2002: *Elementi di archeometria: Metodi fisici per i beni culturali*. Egea. 371pp.

34) CROOK D. M., BENNETT W. E., 1965: *The Effect of Humidity and Temperature on the Physical Properties of Paper*. The British Paper and Board Industry Research Association

35) CUTTLE C., NE'EMAN E., 1999: Control of damage to museum objects by exposure to optical radiation, *CIE 24th Session*, Warsaw

36) DE BOCK L.A., VAN GRIEKEN R.E., CAMUFFO D., GRIME G.W., 1999: Microanalysis of museum aerosols to elucidate the soiling of paintings: case of the Correr Museum, Venice, Italy. *Environmental Science & Technology*, 30, 11, pp. 3341-3350

37) DE BOCK L., VAN GRIEKEN R., CAMUFFO D., GRIME G.W., 1996: Microanalysis of Museum Aerosols to Elucidate the Soiling of Paintings: Case of the Correr Museum, Venice, Italy. *Environmental Science and Technology*, 30, 3341-3350

38) DE BOCK L.A., VAN GRIEKEN R.E., CAMUFFO D., 1995: Micro-Analysis of Museum Aerosols to Elucidate the Soiling of Paintings. *J. Aerosol Sci.*, 26, Suppl. 1, 5513-5514

39) DE SANTIS F., 1997: Effetti degli inquinanti atmosferici sulle opere d'arte conservate in interni museali, Soc. italiana per il progresso delle scienze. In *La scienza per i beni culturali*, Atti della LXIV Riunione, Roma 16-18/10/1997, pp. 211-221

40) DE SANTIS I., ALLEGRIANI I., FAZIO M.C., PASELLA D., 1995: Caratterizzazione della qualità dell'aria all'interno e all'esterno della Chiesa di S. Luigi dei Francesi in Roma. In *Proceedings of 1st International Congress on Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the Mediterranean basin*, Nov.-Dic., Catania, Siracusa, pp. 1687-1691

41) EBRAHIMZALEH P.R., 1997: Study of Mechanical Properties of Wood and Paper During Humidity Change. *Int. Conference Wood Water relations*. 16-17 June Copenhagen. Denmark. 397-408

42) FELLERS C., IVERSON T., LINDSTROM T., NILSON T., RYDAHL M., 1989: Aging/Degradation-A Literature Survey. *Report Number 1E*, FoU-projektet for

papperskonservering, Stockholm, A recent review of the factors affecting paper aging and degradation

43) ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY, 1970: Lighting of art galleries and museum. *IES Technical Report*, n. 14, London

44) ISO 18920, *Imaging materials. Processed safety photographic reflection prints. Storage practices*

45) ITO A., NAKAGAWA R., ABE F, NAKAMURA Y., 1998: Vibration-isolation retrofit for the National Museum of Western Art, Tokyo. *Structural engineering international* vol.8, no3, pp.181-182, Zürich

46) LUNER, P., 1988: Evaluates paper permanence by several methods. *Wood Science Technology*, 22, 81

47) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI, 2001: *Atto di indirizzo sui criteri tecnico- scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei* (Art. 150, comma 6, del D.L. n. 112 del 1998)

48) SEBERA D.K., 1988: A Graphical Representation of the Relationship of Environmental Conditions to the Permanence of Hygroscopic Materials and Composites. In *Proceedings of Conservation in Archives: International Symposium*, Ottawa, Canada, May 10-12, 1988. Paris, France: International Council on Archives

49) SEBERA D.K., 1990: The Effects of Strengthening and Deacidification on Paper Permanence: Part 1-Some Fundamental Considerations, Book and Paper Group Annual 9: 65-117. Washington, DC: American Institute for Conservation

50) SMITH R. D., 1969: An early, but still valuable introduction to the relationship of pH and environmental conditions to paper impermanence. *Library Quarterly*, 39, 153

51) TÉTREAU J. 2003: Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment. Control Strategies and Preservation Management, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 168 pp.

52) THOMSON G., 1986: *The museum Environment*, Butterworths, London

53) UNI 10840 - *Luce ed*

illuminazione - locali scolastici. Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale

54) UNI EN 12464-1: *Luce ed illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro*

55) VILES H.A., CAMUFFO D., FITZ S., FITZNER B., LINDQUIST O., LIVINGSTON R.A., MARAVELAKI P.N.V., SABBIONI C., WARSCHIED T.W., 1997: What is the State of Our Knowledge of the Mechanisms of Deterioration and How Good Are Our Estimates of Rates of Deterioration? pp. 95-112 In BAER N.S., SNETHLAGE R. (editors): *Saving Our Architectural Heritage: The Conservation of Historic Stone Structures*. Wiley, Chichester

56) WELLHEISER J.G., SCOTT J., 2002: *An ounce of prevention. Integrated disaster planning for archives, libraries and record centres*. Maryland /London Scarecrow Press, Inc. /Canadian Archives Foundation Second edition

57) WILSON W.K., 1995: *Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records*, NISO-TR01-1995, Niso Press, Bethesda, Maryland

58) YOOR Y.H., BRIMBLECOMBE P., 2000: Contribution of dust at floor level to particle deposit within the Sainsbury centre for visual arts. *Studies in Conservation*, 45, pp. 127-137.

59) ZEVI L., 2003: *Il nuovissimo Manuale dell'Architetto*. Ed. Mancosu, Roma

CAPITOLO 2 L'invecchiamento dei materiali

1) ACCARDO G., GIANI E., SECCARONI C., 1995: Evoluzione della modellistica di vetrine per la conservazione di manufatti artistici. *Materiali e Strutture: Problemi di conservazione*, Vol. 3, pp. 115- 125. L'Erma di Bretschneider, Roma

2) AGHEMO C., FILIPPI M., PRATO E., 1994: *Condizioni Ambientali per la Conservazione dei Beni di Interesse Storico Artistico*, Comitato Giorgio Rota, Torino

3) AIDI - Associazione Italiana di Illuminazione, 1999: *Manuale di*

illuminotecnica, Tecniche Nuove, Milano

4) ALLSOPP D., SEAL K.J., 1986: *Introduction to Biodeterioration*, Edward Arnold, London

5) ARAI H. 1987: On the foxing-causing fungi, *ICOM Committee for Conservation*, 8th Triennial Meeting, Sydney, Sept. 1987, a cura di K. Grimstad, USA, The Getty Conservation Institute, pp. 1165-1167

6) ARAMINI F., 1998: Illuminazione e microclima. *Materiali per l'aggiornamento nel restauro*, ICR, Edizioni De Luca, Roma

7) BAER N.S., BANKS P.N., 1985: Indoor air pollution effects on cultural and historic materials. *The international journal of museum managements and curatorship*, 4, pp. 9-20

8) BETTEMBOURG J.M. 1976 : Composition et alteration des verres de vitraux anciens, *Verres et Réfract.*, 30. 36-42

9) BRADLEY S., 1996: Development of an environmental policy for British Museum. In *Triennial meeting (11 th)*, Edinburgh, 1-6 Sept 1996, ICOM, pp. 8-13

10) BRIGHTMAN F.H., SEAWARD M.R.D., 1977: Lichens of man-made substrates. In *Lichen Ecology*, a cura di SEAWARD M.R.D., Academic Press, London, pp. 253-293

11) BRILL T.B., 1980: *Light, its interaction with art and antiquities*. Plenum Press, New York

12) BRIMBLECOMBE P., 1990: The composition of museum atmospheres. *Atmospheric environment*, 24B, 1, pp. 1-8

13) BROKEROFF A., 1989: *Control of fungi and insect in objects and collections of cultural value*, Amsterdam, pp. 4-10

14) CAMUFFO D., 1990: Ambienti e Musei. Microclimatologia di ambienti chiusi e conservazione di opere pittoriche. In *Atti dell 'Accademia Nazionale dei Lincei*. Giornata dell'Ambiente, 82, pp. 157- 166

15) CAMUFFO D., BERNARDI A., 1985: *Fattori microclimatici e conservazione dei beni artistici*, Brescia

16) CANEVA G., NUGARI M. P., SALVADORI O., 2005: Biodeterioramento e conservazione.

In *La biologia vegetale per i beni culturali*, Vol I., Collana Arte e Restauro, Nardini

17) CANEVA G., SALVADORI O., 1988: The deterioration and conservation of stone. *Studies and documents on the cultural heritage*, 16, a cura di PIEPER R., Unesco, Paris, pp.203-205

18) CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES, MUSEUMS AND ART GALLERIES, CIBS 1980: *Lighting Guides* n. 14, London

19) COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO, 1994: Climatizzazione dei musei. Progetto di Norma CTI E02.01.304.0. *La Termotecnica*. Aprile 1994, pp. 43-50

20) COSTELLO J.A., 1969: The corrosion of metals by micro-organisms. A literature survey. *Int. Biod. Bull.* 5 (3), pp.101-118

21) CUTTLE C., NE'EMAN E., 1999: Control of damage to museum objects by exposure to optical radiation, *CIE 24th Session*, Warsaw

22) DE BOCK L.A., VAN GRIEKEN R.E., CAMUFFO D., GRIME G.W., 1999: Microanalysis of museum aerosols to elucidate the soiling of paintings: case of the Correr Museum, Venice, Italy. *Environmental. Science & Technology*, 30, 11, , pp. 3341-3350

23) DE SANTIS F., 1997: Effetti degli inquinanti atmosferici sulle opere d'arte conservate in interni museali, Soc. italiana per il progresso delle scienze. *La scienza per i beni culturali*, Atti della LXIV Riunione, Roma 16-18/10/1997, pp. 211-221

24) DHAWAN S., 1986: Microbial deterioration of paper material - A literature review. Government of India, Department of Culture, National, Research Laboratory for Conservation of Cultural Property, a cura di KHAN M.M., *India*. Lucknow, pp. 1-18

25) DIX N.J., WEBSTER J., 1995: *Fungal Ecology*, Chapman and Hall

26) FILIPPI M., 1987: Gli impianti nei musei. *CDA Condizionamento, riscaldamento, refrigerazione*, n. 8

27) FLORIAN M., 1988: Deterioration of organic materials other than wood. *Conservation of marine archaeological objects*, a cura di PEARSON C., Butterworths, London, pp. 21-54

28) FORCOLINI G., 1999: *Illuminare con i condotti ottici*, Hoepli, Milano

29) GALLO F., PASQUARIELLO G., 1989: Foxing: ipotesi sull'origine biologica. *Bollettino Istituto Centrale per la Patologia del Libro*, 43, pp. 139-176

30) GALLO F., 1992: Il biodeterioramento di libri e documenti. *Centro di studi per la conservazione della carta*. ICCROM, Roma

31) GAMBETTA A., ORLANDI E., 1982: Durabilità naturale di 100 legni indigeni e di importazione a funghi, insetti e organismi marini. *Contributi Scientifico-Pratici per una Migliore Conoscenza ed Utilizzazione del Legno*, XXX, n.79, CNR Istituto per la Ricerca sul Legno, Roma, pp.47-71

32) GARG K.L., DHAWAN S., 1987: Microbial deterioration of wooden cultural property. *Conservation of cultural property in India*, a cura di SINGH T., voll. XVIII-XX, Indian Association for the Study and Conservation of Cultural Property, New Delhi, pp. 4-85

33) HALE M.E. 1983: *The Biology of lichens*, Edward Arnold, London (3rd ed.)

34) HENDERSON C., 1999: Environmental standards for exhibiting library and archival materials; the work of NISO Committee MM. In *International Conference on Conservation and Restoration of archival and library materials*, Erice 22-29 April 1996, pp. 125-131

35) HICKIN N., 1985: *Bookworms - The insect pest of books*. London, Sheppard Press

36) HOFFMAN I. 1989: Algae of terrestrial habitats. *Botanical Review*, 55 (2), pp. 77-105

37) HUECK H.J. 1972: Textiles pests and their control. *Textiles Conservation*, 1. E. Leene, London, pp. 76-97

38) ICCROM - ICR, 1983: *Conservazione preventiva nei musei*, ICR, Roma

39) ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY, 1970: Lighting of art galleries and museum. *IES Technical Report*, n. 14, London 1970.

40) ISO 18920: *Imaging materials. Processed safety photographic reflection prints. Storage practices*.

41) IVERSON W.P. 1968: Mechanisms

of microbial corrosion.

Biodeterioration of materials, a cura di WAITERS A.H., Elsevier Publishing, Amsterdam, pp. 28-43

42) KOWALIK R. 1980: Microbiodeterioration of library materials. Part 1. *Restaurator*, 4, pp. 99-114

43) KRUMBEIN W.E., 1983: *Microbial Geochemistry*, Blackwel 1, Oxford

44) KUROCZKIN J., KRUMBEIN W.E., 1987: Studies on microbial degradation of ancient leather bookbinding's part 1. *Int. Biodet. Bulletin*, 2 3 (I), pp 3-27

45) LACEY J., 1981: The aerobiology of conidial fungi. In *Biology of conidial fungi*, a cura di COLE G. T. & KENDRICK B., Academic Press, New York, pp.373-416

46) LEHTONEN T., REPONEN, NEVALAINEN A., 1993: Everyday activities and variation of fungal spore concentrations in indoor air. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 31, pp. 25-39

47) MAGAUDDA G., 1994: *Il biodeterioramento dei beni culturali*. Roma, Borgia, ENEA

48) MELLOR E. 1924: The decay of window glass from the point of view of lichenous growth. *Journal of Society of Glass Technology*, 8, pp. 182-186

49) NEWTON R., DAVISON S., 1989: *Conservation of Glass*. Butterworths.

50) NIEVES V., 1999: Assessment of biodeterioration processes in organic materials. Control methods. In *International Conference on Conservation and Restoration of Archival and Library Materials*, Erice 22-29 April 1996, , pp. 231-240

51) NIEVES V., RAFAEL G., OSCAR DE LUIS, SHIN M., 1998: Microbial control in archives, libraries and museum by ventilation systems. *Restaurator*, vol. 19, n. 2, pp. 85-107.

52) NIMIS P.L., PINNA D., SALVADORI O., 1992: *Licheni e conservazione dei monumenti*, CLUEB, Bologna

53) Normal 39/93, *Rilevamento della carica microbica dell'aria*, CNR - ICR, Comas Grafica, Roma 1994

54) NUGARI M.P., SALVADORI O., 1994: *La biologia nel restauro*. Ed. Nardini, Firenze

55) PASQUARIELLO G., MAGGI O., 1998: Musei. In *Aerobiologia e Beni*

Culturali. Metodologie e Tecniche di Misura. Eds CANEVA G. and MANDRIOLI P., Nardini Editore, Fiesole (Firenze), pp. 215-227

56) PRESSI G. (a cura di), 1996: Microrganismi biodeteriogeni, alcune cose da sapere. *Restauro & Conservazione*, n. 7, pp. 7-11

57) RAMBELLI A., 1981: *Fondamenti di micologia*, Zanichelli, Bologna

58) SAGAR B.F., 1988: Biodeterioration of textile materials and textile preservation. *Biodeterioration* 7, a cura di HOUGHTON D.R., SMITH R.N. e EGGINS H.O.W., Elsevier Applied Science, London And New York, pp. 683-702

59) SAIZ-JIMENEZ C. (Eds), 1995: The deterioration of Monuments. In *The Science of the Total Environment*. Vol 67, Elsevier

60) SALVADORI O., NUGARI M.P., 1988: The effect of microbial growth on synthetic polymers used on works of art. *Biodeterioration* 7, a cura di HOUGHTON D.R., SMITH R.N. e EGGINS H.O., Elsevier Applied Science, London and New York, pp. 424-427

61) SCHLICHTING H.E. 1964: Meteorological conditions affecting the dispersal of airborne algae and protozoa. *Lloydia*, 27, pp.64-78

62) SECONDIN S. (a cura di), 1996: L'indagine visiva di alghe, muschi e licheni. *Restauro & Conservazione*, n. 8 (mag.), pp. 11-12

63) SMITH P., 1973: The effects of some air pollutants and meteorological conditions on airborne algae and protozoa. *Journal Air Pollution Control Assoc.*, 23, pp. 876-880

64) SORLINI C., D. FALAPPI, RANALLI G., 1991: Biodeterioration preliminary test on sample of Serena stone treated with resin. *Ann. Microbiol.*, 41, pp. 71-79

65) SORLINI C., ANDREOLI V., 1987: Degradabilità microbica dei polimeri di sintesi. In *Materie plastiche. Dalla produzione allo smaltimento: problematica emergenti* (FRIGERIO A. ed.) Rassegna dell'Imballaggio 35/36, pp. 229-243

66) STAMBOLOV T., 1985: *The corrosion and conservation of metallic antiquities and works of art*, CL Publications.

67) STRANGER-JOHANNESSEN M., 1988: The antimicrobial effect of

pigments in corrosion protective paints. *Biodeterioration* 7, a cura di HOUGHTON D.R., SMITH R.N. e EGGINS H.O., Elsevier Applied Science, London and New York, pp. 372-277

68) STRZELCZYK A.B., 1981: Painting and sculpture. *Microbial Biodeterioration. Economic Microbiology*, vol. 6, a cura di ROSE A.H., Academic Press, London, pp. 203-234

69) STRZELCZYK A.B., LEZNICKA S., 1981: The role of fungi and bacteria in the consolidation of books. *Int. Biodet. Bulletin*, 17 (2), pp. 57-67. 1

70) TAYLER S., MAY E., 1995: A comparison of methods for the measurement of microbial activity on stone. *Studies in Conservation*, vol. 40, n. 3, pp. 163-170

71) TENNENT N.H., 1981: Fungal growth on medieval glass. *Journal of British Society of Master Glass Painters*, 17, pp. 64-68

72) THOMAS J.K., 1992: A review of published temperatures for the control of pest insects in museum. *Collection Forum*, vol. 8, n. 2, pp. 41-67

73) THOMSON G., 1986: *The museum Environment*, Butterworths, London

74) TIANO P., 1993: Biodeterioration of stone monuments: a critical review. *Recent Advances in Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 1. pp. 300-321

75) TIANO P., TOSINI I., RIZZI M., 1988: Sicurezza degli ambienti museali contro gli agenti biologici: procedure di prevenzione e intervento. *OPD restauro*, 3, pp. 82-89

76) TIANO P., 1991: Problemi biologici nella conservazione del patrimonio culturale. *Kermes*, n. 10, pp. 56-73

77) UNI 10586, 1997: *Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti*.

78) UNI 10829, 1999: *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazioni ed analisi*.

79) VIGO T.L., 1977: Preservation of natural textile fibres - Historical perspectives. Preservation of paper and textiles of historic and artistic

value. In WILLIAMS J.C. (a cura di), *Advances in Chemistry*. Series 164, American Chemical Society, Washington, DC, pp. 189-207

80) WEE Y.C., LEE K.B., 1980: Proliferation of algae on surfaces of buildings in Singapore. *Int. Biodet. Bulletin*, 16 (4), pp. 113-117

81) WILSON W.K., 1995: *Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records*, NISO-TR01-1995, Niso Press, Bethesda, Maryland.

82) WINTER A. 1965: Alteration des surfaces des verres anciens. In *Proceedings of 8th International Congress on Glass*, Bruxelles. doc. n.229

83) YOOR Y.H., BRIMBLECOMBE P., 2000: Contribution of dust at floor level to particle deposit within the Sainsbury centre for visual arts. *Studies in Conservation*, 45, pp. 127-137

CAPITOLO 3

La qualità dell'aria indoor

1) AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE), 2003: Museums, Libraries, and Archives. Chapter 21 in *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Applications*. Atlanta

2) APAT, 2006: Atti del Convegno *Effetti dell'inquinamento atmosferico sui beni di interesse storico - artistico: le esperienze APAT - ICR*, Roma, 28/06/2006

3) ARPA EMILIA-ROMAGNA, 2002: *Annuario regionale dei dati ambientali 2002*

4) BARRY KNIGHT, 1994: Passive Monitoring for Museum Showcase Pollutants. *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*. Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994. The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), pp. 174-176

5) BLADES N., ORESZCZYŃ T., BORDASS B., CASSAR M., 2000: *Guidelines on Pollution Control in Museum Buildings*, UCL Eprints, London

6) BRIMBLECOMBE P., 1990: The composition of museum atmospheres. *Atmospheric Environment*, 24B, 1-8

7) BRIMBLECOMBE P., BLADES N., CAMUFFO D., STURARO G., VALENTINO A., GYSELS K., VAN GRIEKEN R., BUSSE H.J., KIM O., ULRYCH U., WIESER M., 1999: The indoor environment of a modern museum building, The Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich, UK, *Indoor Air*, 9, 146-164

8) CAMUFFO D., 1983: Indoor dynamic climatology: investigations on the interactions between walls and indoor environment. *Atmospheric Environment*, 17, 1803-1809.

9) CAMUFFO D., 1998: Microclimate for Cultural Heritage, *Developments in Atmospheric Science*, No 23, Elsevier, Amsterdam

10) CASSAR M. (ed.), 2001: *Technological Requirements for Solutions in the Conservation and Protection of Historic Monuments and Archaeological Remains*, unpublished working paper to the STOA Unit, European Parliament

11) CASSAR M., 1995: *Environmental management. Guidelines for museums and galleries*, Routledge and Routledge, London and New York

12) CECILY M. G. DRUZIK, 1991: Formaldehyde: Detection and Mitigation. *WAAC Newsletter*, Volume 13, Number 2, May. Western Association of Art Conservators, pp.13-16. Also available on the WWW: <http://palimpsest.stanford.edu/waac/wn/wn13/wn13-2/wn13-208.html>

13) CECILY M. GRZYWACZ & DUSAN C. STULIK, 1992: Passive monitors for the detection of pollutants in museum environments. Pamela Hatchfield (ed.): *AIC Objects Specialty Group, Postprints 1991*, Vol. One. The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, pp. 33-41

14) CECILY M. GRZYWACZ, 1993: *Using Passive Sampling Devices to Detect Pollutants in Museum Environments*. Preprints of the 10th Triennial Meeting of the ICOM Committee for Conservation, Washington. International Council of Museums, pp. 610-615

15) DAHLIN E., HENRIKSEN J.F., ANDA O.: 1997: Assessment of environmental risk factors in museums and archives, *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, 10, Special issue, 94-97

16) HAVERMANS J., 1997: Effects of SO2 and NOX on the accelerated ageing of paper. *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, 10, Special issue, 128-133

17) INTERNATIONAL COUNCIL OF MUSEUMS, 1991: *ICOM-statutes. Code of professional ethics*, Norsk ICOM, Oslo

18) ISA-71.04-1985 *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants*

19) GIBSON L.T. COCKSEY, LITTLEJOHN B.G., TENNENT N.H., 1997: Determination of Acetic and Formic Acid in the Museum Environment D. by Passive Sampling. *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, vol. 10, June. European Commission - Environment and Climate Research Programme, Brussels, pp. 108-112

20) LARSEN R., 1997: Deterioration and conservation of vegetable tanned leather, *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, 10, Special issue, 54-61

21) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, 2001: *Atto di indirizzo sui criteri*

tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei. (Art. 150 comma 6, D.lgs. n.112/1998)

22) MORTEN RYHL-SVENDSEN, PADFIELD T., VICTORIA A. SMITH, DE SANTIS F., 2003: The indoor climate in historic buildings without mechanical ventilation. *Healthy Buildings*, pp 278-283

23) NISO, NISO TR01-1995, *Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records*. National Information Standards Organization / 01-Dec-1995 / 40 pp

24) PAVLOGEORGATOS G., 2003: Environmental parameters in museums. *Building and Environment*, Vol. 38, Issue 12, 1457-1462

25) PROVINCIA DI BOLOGNA, 2004: *Rapporto sullo stato dell'Ambiente 2004*

26) PUTT N., MENEGAZZI C., 1999:

ICCROM preventive conservation experiences in Europe. In *Preprints of the 12th Triennial Meeting of ICOM-Committee for Conservation*, Lyon, 29 August – 3 September 1999, James & James, London

27) SALMON L.G., CASS G. R., BRUCKMAN K., HABER J., 2000: Ozone exposure inside museums in the historic central district of Krakow, Poland, *Atmospheric Environment*, 34, 3823-3832

28) SCHARLAU K., 1950: Einführung eines Schwülemasstabes und Abgrenzung von Schwülezeiten durch Isohygrothermen *Erdkunde* v.4, pp.188-201

29) TÊTREAU J., 2003: Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management. Ottawa: Canadian Conservation Institute

30) TÊTREAU J., 2003: Guidelines for Pollutant Concentrations in Museums Newsletter. CCI Technical Bulletin No. 31. Ottawa: Canadian Conservation Institute

31) THOM E.C., BOSEN J.F., 1959: The discomfort index. *Weatherwise*, 12: 57-60

32) THOMSON G., 1994: *The Museum Environment*, 2nd Edition, Butterworth Heinemann, Oxford

33) THOMSON G., 1965: Air Pollution: A Review for Conservation Chemists. *Studies in Conservation* 10, pp. 147-167

34) THOMSON G., 1986: *The Museum Environment*. Second edition. London: Butterworths, pp. 268-269

35) UNI 10829, 1999: *Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi*

36) U.S. DEPARTMENT OF LABOR, OSHA Occupational Safety & Health Administration: *Carbon Dioxide in Workplace Atmospheres*, ID-172

37) WILHELM H., 1993: The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides, and Motion Pictures. Grinnell: Preservation Publishing Company, p. 563

38) BAER N. S., BANKS P. N.: 1985: Indoor air pollution: Effects on

cultural and historical materials. *The International Journal of Museum Management and Curatorship* 4: 9-20

CAPITOLO 4 Monitoraggio dell'ambiente

1) ACCARDO G., 1992: Monitoraggio ambientale: Analisi e tecniche di intervento strumentale sul territorio. In *3° conferenza internazionale sulle prove non distruttive, metodi microanalitici e indagini ambientali per lo studio e la conservazione delle opere d'Arte*, pp.865-879, Viterbo, 4-8 ottobre 1992

2) ACCARDO G., VIGLIANO G., 1989: *Strumenti e materiali del Restauro*. Kappa, pp 85-93

3) ARCANGELI S., AUGELLI L., 1987: Le Patologie da Condensa. *Quaderni Tecnologici*.

4) BENNICI A., CACACE C., GERARDI G., 1992: Tecniche informatiche per l'elaborazione di dati microclimatici acquisiti con centralina automatica. Esempio di applicazione nel caso del Duomo di Todi. In *3° conferenza internazionale sulle prove non distruttive, metodi microanalitici e indagini ambientali per lo studio e la conservazione delle opere d'Arte*, pp.899-912, Viterbo, 4-8 ottobre 1992

5) BRIMBLECOMBE P., 1990: The composition of museum atmospheres. *Atmospheric Environment* 24B (1): 1-8

6) BRUTSAERT W. H., 1982: *Evaporation into the atmosphere*, pp. 299, Riedel, Dordrecht, Holland

7) CAMUFFO D., 1998: *Microclimate for Cultural Heritage. Developments in Atmospheric Science* 23, Elsevier, Amsterdam, pp. 415

8) CANEVA G., NUGARI M.P., SALVADORI O., 1991: *Biology in the Conservation of Works of Art*. ICCROM, Roma

9) CAPORALONI M., CAPORALONI S., AMBROSINI R., 1987: *La misura e la valutazione della sua incertezza nella fisica sperimentale*. Zanichelli pp. 206

10) CASSAR M., 2005: *Climate Change and the Historic*

Environment. Centre for Sustainable Heritage, University College London, London, UK

11) CASSAR M., TAYLOR J., 2004: Indoor Environments in Historic Buildings. *Journal of the Society of Archivists*, 25(2), 157-172

12) CASSAR M., 1995: *Environmental management, guidelines for museums and galleries*. Museums and Galleries Commission, Routledge Publ.

13) CASSAR M., 1990: Using standards. In S. KEENE, ed. *Managing conservation: Conference Preprints*. UKIC, pp 11-15

14) FEA G., 1988: *Appunti di meteorologia fisica descrittiva e generale*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Meteorologico Regionale, pp. 434

15) GALLO F., 1980: Factors Conductive to the Attack of Biological Agents in Libraries and Archives and Means of Inhibiting such Attacks. Part 12 European Postgraduate Course 2 The Conservation of Library and Archive Property: 147-160

16) GUIDOBALDI F., 1974: Inquinanti Atmosferici e possibili effetti sui materiali artistici e archeologici. CNR - Istituto di fisica tecnica - Quaderno 26

17) KEENE S., ORTON C., 1992: Measuring the condition of museum collections. CAA91: computer applications and quantitative methods in archaeology. Loke and Moffett eds. Oxford: British Archaeological Reports

18) MONTEITH J. L., UNSWORTH M.H., 1990: *Principles of environmental physics*. pp.291, Edward Arnold Ed., London

19) OLSON G.J., IVERSON W.P., BRINCKMAN F.E., 1983: Biodeterioration potential of standard reference materials (SRMs) *Biodet.* 5 pp. 434-44

20) SCHWERTFEGER P., 1976: Physical principles of micro-meteorological measurements. *Developments in atmospheric sciences* 6, pp. 113, Elsevier, N.Y.

21) STAINER M.W., MOUNT L.E., BLIGHT J., 1984: *Energy balance and temperature regulation*. pp. 152, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK

22) VISCONTI G., 1989: *L'atmosfera*. pp. 307. Garzanti, Milano

CAPITOLO 5

I macro e i microambienti

- 1) ACCARDO G., GIANNI E., SECCARONI C., 1995: Evoluzione della modellistica di vetrine per la conservazione di manufatti artistici. *Materiali e Strutture: problemi di conservazione*, 3, pp. 115-126
- 2) BASSO PERESSUT L., 2002: Musei-architettura 1990-2000, Milano. *Annali del Laboratorio Museotecnico III*, Cittadella
- 3) BERNARDI A., 1993: Aspetti metodologici per il controllo del microclima nei musei: individuazione delle cause di alterazione e soluzioni possibili. In *Atti del Convegno Ambiente, città e museo: esperienze italiane*, Ferrara, pp. 35-48
- 4) BONGIOVANNI L., FILIPPI M., 1988: Qualità ambientale nei musei e negli archivi: un metodo di analisi e valutazione dei dati fisici ambientali. In *IInd Int. Conference on Nondestructive Testing, Microanalytical Methods and Environment Evaluation for Study and Conservation of Works of Art*, Perugia, Ed. ICR/E Anselmi, vol. 3, pp. 8.1-8.17
- 5) BRANDI C., 1977: *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino
- 6) BRIMBLECOMBE P., 1990: The composition of museum atmosphere. *Atmospheric Environment*, 24B, pp. 1-8
- 7) CANEVA G., NUGARI M.P., SALVADORI O., 1991: *Biology in the Conservation of Works of Art*, ICCROM, Roma
- 8) CASSAR M., 1983: *Report on a survey of the literature on microclimate control in museum*, ICCROM, Rome, pp. 16-20
- 9) CAVALLINI T., MASSA S., RUSSO A., 1988: Optimal Environmental conditions in Museums. In *Science, Technology and European Cultural Heritage*, a cura di BAER N.S., SABBIONI C., SORS A.I., Commission of the European Communities, pp. 58-64
- 10) DE GUICHEN G., 1980: *Climate in museums: measurement*, ICCROM, Roma
- 11) FILIPPI M., 1987, *Gli impianti nei musei*, CDA, n. 8, pp. 965-984.
- 12) FILIPPI M., LOMBARDI C., SILVI

- C., 1994: Conservazione di beni di interesse storico ed artistico: annotazioni a margine di una norma sulle condizioni ambientali. *Condizionamento dell'aria, riscaldamento e refrigerazione*, 4, pp. 487-493
- 13) FLORIAN M.L., 1994: Conidial Fungi (Mould, Mildew) Biology: A Basis for Logical Prevention, Eradication and Treatment for Museum and Archival Collections. *Leather Conservation News* 10, pp.1-29
- 14) GALLO F., 1992: Microclimi delle biblioteche e biodeterioramento dei libri. *Mediaplusnews* VI, (8), pp.22-27
- 15) GRAHAM M., 1993: Showcase design. In *Conservation Science in the U.K.*, Preprints of the meeting held in Glasgow Tennet, a cura di H. Norman, James & James, London, pp. 103-105
- 16) ICCROM-ISTITUTO CENTRALE DEL RESTAURO, 1985: *Conservazione preventiva nei musei: il controllo dell'illuminazione, il controllo del clima*
- 17) ISTITUTO BENI ARTISTICI CULTURALI NATURALI REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1982: *La conservazione dei Musei*, doc. n.16, ediz. Coop. Libreria Universitaria Bologna
- 18) KOWALIK R., SADURSKA E.I., 1956: Microorganisms Destroying Paper, Leather and Wax Seals in the Air of Archives, *Acta Micr. Polonica*, 5, (1-2), pp.277-84
- 19) MERZENICH C., 1991: Vetrine ad impianto passivo di climatizzazione: una bibliografia ragionata, *Kermes*, 11, pp. 3-11
- 20) MICHALSKI A., 1994: A systematic approach to preservation: description and integration with other museum activities. Preventive conservation practice theory and research. *International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, Ottawa, pp. 8-10
- 21) MINISSI F., 1967: Dimensionamento ed agibilità delle vetrine dei musei. *Musei e Gallerie d'Italia*, 31, pp. 31-40
- 22) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, 2001: *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei* (Art. 150 comma 6, D.lgs. n.112/1998), D.M. 10 maggio 2001

- 23) NYUKSHA J.P., 1979: Biological Principles of Book Keeping Conditions. *Restaurator*, 3, pp. 101-108
- 24) STOLOW N., 1978: The effectiveness of preconditioned silica gel and relate sorbents for controlling humidity environments for museum collection. *Museum Conservation Climate*, ICCROM, pp. 1-35
- 25) TARSITANI G., MICALI O., FUSILLO C., MORONI C., MONTACUTELLI E. R., 1996: Book's Microbiological Contamination and Reading Risk pp.121-128 in preprints *International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials*, Erice (Italy) 22nd-29th April 1996
- 26) THOMSON G., 1986: *The Museum Environment*, Elsevier Editor
- 27) THOMSON G., 1964: Relative humidity variation with temperature in case containing wood. *Studies in Conservation*, 9, pp. 153-169
- 28) UNI 10829,1999: *Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*
- 29) ZAMBELLI A., 1983: Note tecniche. In PIVA A., *La costruzione del museo contemporaneo*, JakaBook, Milano, pp. 15-20

CAPITOLO 6

La movimentazione delle opere per le esposizioni temporanee

- 1) AA.VV., 1993: *Guide to Lighting in Museums* (CIBSE)
- 2) AA.VV., 1988: *La sicurezza dei beni culturali nel trasporto*. Atti del Convegno, Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali, Istituto Centrale per il Restauro, Roma 9 dicembre 1988
- 3) CONSIGLIO D'EUROPA, 2005: *Lending to Europe. Recommendations on collection mobility for European museums*. Risoluzione n.13839/04.
- 4) GREEN T., HACKNEY S., 1984: The evaluation of a packing case for paintings. In ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting,

Copenhagen, 10/14 September 1984, pp. 84.12.1-84.12.6

5) MARTIN G., 1996: *Preventive Conservation Guidelines for developments*, Victoria & Albert Museum, London

6) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, 2001: *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*. (Art. 150 comma 6, D.lgs. n.112/1998), D.M. 10 maggio 2001

7) RICHARD M.J., 1999: Packing delicate art objects for transit. In ICOM Committee for Conservation, 9th Triennial Meeting, Dresden (German Democratic Republic) 26/31 august 1999, pp. 410-414

8) STOLOW N., 1967: *Standards for the care of works of art in transit*. London Conference on Museum Climatology, The International Institute for Conservation, p. 271-284

9) STURMAN S.G., OZONE J.L., 1999: The Courier experience. In ICOM Committee for Conservation, 9th Triennial Meeting, Dresden (German Democratic Republic) 26/31 august 1999, pp. 423-427

10) WESTERUDD O., 1987: Transportation and handling of art and other exhibits. In ICOM Committee for Conservation, 8th Triennial Meeting, Sidney (Australia) 6/11 September 1987, pp. 611-616

CAPITOLO 7

La gestione degli ambienti e dei visitatori

1) BAER N.S., BANKS P.N., 1985: Indoor air pollution: Effects on cultural and historic materials. *International Journal of Museum Management and Curatorship* 4:9-20

2) BERNARDI A., 2004: *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*. Ed. Il Prato, Padova

3) BRIMBLECOMBE P., 1990: The composition of museum atmosphere. *Atmospheric Environment*, 24B, pp. 1-8

4) CAMUFFO D., BERNARDI A., 1986: Dinamica del microclima e scambi

termoigrometrici tra pareti e atmosfera interna della Cappella Sistina. *Bollettino Monumenti Musei e Gallerie Pontificie*. IV, 21 1-257

5) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, Direzione Generale per l'Innovazione Tecnologica e la Promozione, Ufficio di Statistica, *Visitatori e Introiti dei Musei, Monumenti ed Aree Archeologiche Statali per tipologia e provincia*

6) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, 2001: *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*. (Art. 150 comma 6, D.lgs. n.112/1998), D.M. 10 maggio 2001

7) MONCADA LO GIUDICE G., COPPI M., 1997: *Benessere termico e qualità dell'aria interna*. Masson, Milano

8) STOLOW N., 1978: The effectiveness of preconditioned silica gel and relate sorbents for controlling humidity environments for museum collection. *Museum Conservation Climate*, ICCROM, pp. 1-35

9) TOURING CLUB ITALIANO, Indagine annuale sull'affluenza dei visitatori nei Musei italiani di maggior interesse turistico. *Dossier Musei* 2006. Centro Studi Touring Club Italiano

10) UNI 10969, 2002: *Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni*.

CAPITOLO 8

Norme e linee guida

1) AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE), 2003: Museums, Libraries, and Archives. Chapter 21. In *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning: Applications*. Atlanta

2) ANSI/NISO Z39.79, 2001: *Environmental Conditions for Exhibiting Library and Archival Materials*

3) APPLEBAUM B., 1991: *Guide to Environmental Protection of Collections*. Madison, CT: Sound View Press

4) BAER N. S., BANKS P. N., 1987: Conservation Notes:

Microenvironments. *The International Journal of Museum Management and Curatorship*. 6:301-305

5) BRANDI C., 1977: *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino

6) BRIMBLECOMBE P., 1990: The Composition of Museum Air. *Atmospheric Environment*. 24B(1):1-8

7) Building Air Quality: A Guide for Building Owner and Facilities Managers. Washington, DC: Environmental Protection Agency, 1991

8) DIRECTION DE MUSÉES DE FRANCE, 1993-1999: *Museofiches*, Paris

9) GUILD S., MACDONALD M., 2004: Mold Prevention and Collection Recovery: Guidelines for Heritage Collections. *Technical Bulletin* 26

10) HARRIS C. L., BANKS P. N., 1990: The Library Environment and the Preservation of Library Materials. *Facilities Manager* (Fall 1990): 21-24

11) HERITAGE COLLECTIONS COUNCIL, 1998: *ReCollections: Caring for Collections Across Australia*. Canberra: Heritage Collections Council

12) HILBERRY J. D., 1983: What Architects Need to Know, and Don't Want to Hear. *Museum News*. 61(5):54-61

13) ICOM (International Council of Museums): *Codice di deontologia dell'Icom per i musei*

14) JALLA D., 2001: Standard di qualità e di risorse per i musei. *Nuova Museologia* n. 1, 2001, pp. 18-21

15) JALLA D., 2002: Standard come strumenti di lavoro per la qualità dei musei, Regione Toscana, Giunta Regionale, p.2

16) KEENE S., 2005: *Managing Conservation in Museums*. Oxford, Butterworth

17) LAFONTAINE R. H., PATRICIA A., 1980: Wood. Fluorescent Lamps. *Technical Bulletin* 7. Ottawa: Canadian Conservation Institute

18) LUEDER D., WEBB S., 1992: Administrator's Guide to Library Building Maintenance. Chicago and London: American Library Association

19) LULL W. P., BANKS P. N., 1995: Conservation Environment Guidelines for Libraries and Archives. Ottawa: Canada Council of Archives

20) LULL W. P., BANKS P. N., 1995: Conservation Environment Guidelines for Libraries and Archives

Ottawa: Canada Council of Archives [This is an update of the same item contained in the Environmental Controls Resource Packet above.]

21) LULL W. P., 1988: Planning and Design of Museum Storage Environments. *Registrar*. 5(2):4-14

22) MASON E., 1980: Consulting on Academic Library Buildings. *Library Trends*. 28:363-80

23) METCALF KEYES D., 1986: *Planning Academic and Research Library Buildings*. 2nd ed. by Philip D. Leighton and David C. Weber. Chicago: American Library Association

24) MICHALSKI S., 2000: Guidelines for Humidity and Temperature for Canadian Archives, CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE, *Technical Bulletin* 23

25) MICHALSKI S., 1993: Relative Humidity: A Discussion of Correct/Incorrect Values. In *ICOM Committee for Conservation: 10th Triennial Meeting*, Washington, D.C., U.S.A., 22-27 August, 1993, Preprints, ed. J. Bridgeland, Vol. 2. Paris, ICOM Committee for Conservation. 624-629

26) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, 2001: *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*. (Art. 150 comma 6, D.lgs. n.112/1998), D.M. 10 maggio 2001

27) MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, 2004: *Codice per i Beni Culturali e Paesaggistici*, Decreto Legislativo n. 42 del 22 Gennaio 2004

28) NATIONAL PARK SERVICE – *Museum Management Program*, 2001: Ch. 8: *Conservation Treatment*

29) NATIONAL PARK SERVICE – *Museum Management Program*, 1998: Ch. 5: *Biological Infestations*

30) NATIONAL PARK SERVICE – *Museum Management Program*, 1999: Ch. 4: *Museum Collections Environment*

31) NATIONAL PRESERVATION OFFICE (NPO), 2003: *Basic Preservation Guidelines for Library and Archive Collections*

32) NISO TR01, 1995: *Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records*

33) NORTHEAST DOCUMENT CONSERVATION CENTER (NEDCC),

Preservation leaflets

34) OTTNEY THOMAS C., 1993: Particle Management for HVAC Systems. *ASHRAE Journal*. 35(7): 14-23

35) PARKER T. A., 1988: How to Recognize and Eliminate Silverfish, Beetles, Cockroaches, Moths, Termites, Rats and Mildew in Libraries and Archives. Upland, PA: DIANE Publishing Co., 1988

36) REILLY J.M., NISHIMURA D.W., ZINN E.D., 1995: New Tools for Preservation: Assessing Long-Term Environmental Effects on Library and Archives Collections. Washington, DC: *The Commission on Preservation and Access*, November 1995.

37) ROHLF R. H., 1986: Library Design: What Not to Do. *American Libraries*. 17:100-4

38) SEBERA D. K. ISOPERMS, 1994: An Environmental Management Tool. Washington, DC: *The Commission on Preservation and Access*, June 1994

39) STRANG T., 1991: Controlling Museum Fungal Problems. *Technical Bulletin* 12.

40) SWARTZBURG S. G. and BUSY H. with GARRETSON F., 1991: "Libraries and Archives: Design and Renovation with a Preservation Perspective". Metuchen, NJ: Scarecrow Press

41) TETRAULT J., 2003: Airborne Pollutants in Museum, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management

42) THE MUSEUMS, LIBRARIES AND ARCHIVES COUNCIL (MLA), 1992: *Standards in the museum care of collections*. – Museums & Galleries Commission. –7 volumes – Archaeological collections, Biological collections, Geological collections, Larger & working objects, Musical Instruments, Photographic collections, Costume and textile collections

43) THOMSON G., 1986: *The Museum Environment*. 2nd ed., London: Butterworths

44) UNI 10829, 1999: *Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi*

45) UNI 10969, 2002: *Beni culturali. Principi generali per la scelta e il*

controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni

46) UNITED KINGDOM INSTITUTE FOR CONSERVATION (U.K.I.C.), 1984: Environmental Standards for the Permanent Storage of Excavated Material from Archaeological Sites. *Conservation Guidelines* No. 3

47) URBANI G., 1973: Problemi di conservazione, Ed. Compositori, Bologna

48) URBANI G., 2000: *Intorno al restauro*, a cura di B. Zanardi, Skira, Milano

49) WALKER A., 2006: *Basic Preservation Guidelines for Library and Archive Collections Design*. The British Library Design Office, First published October 2003, Revised September 2006

50) WELLHEISER J. G., 1992: Nonchemical Treatment Processes for Disinfestation of Insects and Fungi in Library Collections. *IFLA Publications* 60. New York: K.G. Saur

51) ZANARDI B., 2005: Un progetto di formazione per gli addetti della conservazione programmata, Venaria reale, 23 nov. 2005

52) ZYCHERMAN L. A., SCHROCK R., 1988: *A Guide to Museum Pest Control*. Washington: Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and Association of Systematics Collections