

F.R. d'Ambrosio,
M. Filippi (coordinatori)

VI

LA MISURA DELLA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI

*per la conservazione
dei beni museali*



Gruppo di lavoro

Questa linea guida è stata redatta da un gruppo di lavoro costituito dai seguenti esperti:

Coordinatori

Francesca R. d'Ambrosio Alfano Università degli Studi di Salerno
Marco Filippi Politecnico di Torino

Autori dei testi

Chiara Aghemo Politecnico di Torino
Laura Bellia Università degli Studi di Napoli Federico II
Vanessa D'Agostino Libero professionista, PhD
Marco Dell'Isola Università di Cassino e del Basso Lazio
Anna Pellegrino Politecnico di Torino
Giuseppe Riccio Università degli Studi di Napoli Federico II

Hanno contribuito alla stesura dei casi di studio

Paolo Baggio Università degli Studi di Trento
Cesare Bonacina Università degli Studi di Padova
Piercarlo Romagnoni Università IUAV di Venezia
Elisa Sirombo Libero professionista, LEED AP
Antonio Stevan Syncro srl, Padova

Revisori

La revisione di questa linea guida è stata fatta dai seguenti esperti che hanno fornito preziosi suggerimenti:

Francesco Causone Politecnico di Milano
Fabio Peron Università IUAV di Venezia

La Commissione Comitati Tecnici ringrazia il Gruppo di Lavoro che ha prodotto questa Guida.

Federico Pedranzini

Presidente della Commissione Comitati Tecnici di AiCARR

INDICE

Capitolo 1 - L'ambiente per la conservazione

1.1 - Introduzione	1
1.2 - L'ambiente termoigrometrico	3
1.3 - La qualità dell'aria	5
1.4 - L'ambiente visivo	7

Capitolo 2 - Gli strumenti normativi e legislativi nel campo della conservazione

2.1 - Introduzione	11
2.2 - Gli strumenti legislativi italiani	12
2.3 - Gli strumenti normativi	14
2.3.1 - <i>La norma UNI 10829</i>	17
2.4 - Altri documenti italiani	19

Capitolo 3 - Le grandezze da misurare e gli strumenti di misura

3.1 - Introduzione	21
3.2 - Le grandezze termoigrometriche	21
3.2.1 - <i>La temperatura dell'aria</i>	21
3.2.2 - <i>Inquinanti solidi e liquidi</i>	22
3.2.3 - <i>La temperatura superficiale</i>	22
3.2.4 - <i>La temperatura di rugiada</i>	22
3.2.5 - <i>La pressione parziale di vapore</i>	22
3.2.6 - <i>L'umidità specifica</i>	22
3.3 - Le grandezze relative alla qualità dell'aria	22
3.3.1 - <i>Inquinanti aeriformi</i>	23
3.3.2 - <i>Inquinanti solidi e liquidi</i>	23
3.3.3 - <i>Inquinanti biologici</i>	24
3.3.4 - <i>Inquinanti radioattivi</i>	24
3.3.5 - <i>I valori limite di concentrazione per i principali inquinanti</i>	24
3.4 - Le grandezze illuminotecniche	25
3.4.1 - <i>L'illuminamento</i>	26
3.4.2 - <i>La luminanza</i>	26
3.4.3 - <i>L'esposizione luminosa annuale</i>	27
3.4.4 - <i>L'irradianza</i>	27
3.5 - Gli strumenti per la misura delle grandezze termoigrometriche	27
3.5.1 - <i>La misura della temperatura dell'aria</i>	28
3.5.2 - <i>La misura della temperatura effettiva aria-radiante</i>	28

3.5.3 - La misura della temperatura superficiale	29
3.5.4 - La misura dell'umidità relativa	29
3.6 - Gli strumenti per la misura della qualità dell'aria	32
3.7 - Gli strumenti per la misura delle grandezze illuminotecniche.....	34
3.7.1 - La misura dell'illuminamento	34
3.7.1.1 - Parametri prestazionali dei luxmetri.....	34
3.7.2 - La misura della luminanza.....	36
3.7.3 - La misura della esposizione luminosa annuale.....	37
3.7.4 - La misura dell'irradianza UV	37
3.8 - La valutazione soggettiva	37

Capitolo 4 - Le tecniche di misura in campo e la restituzione dei risultati

4.1 - Introduzione	39
4.2 - La metodologia prevista dalla norma UNI 10829	40
4.3 - Le modalità operative	42
4.4 - La presentazione dei dati rilevati	45
4.5 - Valutazione dei risultati delle misure	49

Capitolo 5 - I casi di studio

5.1 - Introduzione	55
5.2 - Caso di studio 1: il monitoraggio termoigrometrico del Museo Egizio di Torino	55
5.2.1 - La pianificazione del monitoraggio	56
5.2.2 - Analisi degli esiti del monitoraggio	58
5.3 - Caso di studio 2: Il monitoraggio delle condizioni di esposizione alla luce in vetrine espositive nel Museo civico di arte antica e Palazzo Madama a Torino	75
5.3.1 - Metodologia: tecnica di misurazione, strumentazione utilizzata ed elaborazione dei dati.....	77
5.3.2 - Le vetrine oggetto della campagna di misurazione	80
5.3.3 - Risultati ottenuti.....	90
5.4 - Caso di studio 3: Rilievi e analisi del microclima della Cappella degli Scrovegni a Padova	99
5.4.1 - Le misure recenti.....	100

Bibliografia	107
---------------------------	-----

Norme	109
--------------------	-----

Leggi e decreti	109
------------------------------	-----

Webgrafia	110
------------------------	-----

PRESENTAZIONE

La nascita di una guida AiCARR è il risultato finale della combinazione di tre distinti fattori: in primo luogo l'esigenza di un approfondimento tecnico relativo a un contesto specifico, in secondo luogo la disponibilità, all'interno della Associazione, di competenze mature e consolidate nella pratica e in terzo luogo la capacità di tradurre tali competenze in informazione organizzata e fruibile dal punto di vista di tutti gli operatori.

La Guida sul Monitoraggio della qualità dell'aria degli ambienti interni per la conservazione dei beni museali si pone come un testo che raccoglie in sé le tre caratteristiche elencate.

Nello specifico, la declinazione della cultura tecnica e impiantistica in un ambito così delicato e importante richiede qualcosa di più che una semplice rilettura delle prassi operative e di diagnosi utilizzate normalmente nell'ambito dello studio della qualità ambientale per fini di benessere e di tutela della salute delle persone: è necessario infatti innescare una serie di sensibilità specifiche e legate alla necessità di gestire l'ambiente in modo tale da minimizzare gli effetti di invecchiamento e di deterioramento di un soggetto, l'opera d'arte, che a differenza degli esseri umani risulta essere di fatto passivo nei confronti delle sollecitazioni ambientali.

Non meno importante risulta inoltre il fatto che le condizioni idonee alla conservazione devono essere ricercate in un ambito che garantisca comunque la fruizione delle opere da parte del pubblico, ponendo di fatto il tema della ricerca di un compromesso, tema cui la tecnica è chiamata a rispondere.

In tal senso, la definizione corretta delle modalità di monitoraggio negli ambienti museali deve essere considerata come il primo e più importante passo per l'evoluzione della diagnostica prima e del controllo ambientale per mezzo dei sistemi impiantistici poi.

La Guida intende porsi quindi non solo come un riferimento culturale e tecnico nei confronti degli operatori del settore, ma anche come il punto di vista di AiCARR nei confronti del tema trattato.

Federico Pedranzini

Presidente della Commissione Comitati Tecnici di AiCARR

L'AMBIENTE PER LA CONSERVAZIONE*

1.1 - Introduzione

Negli ultimi anni c'è stata una profonda evoluzione nelle modalità di progettazione degli edifici, che è il risultato del diffondersi della cultura della qualità energetica e della sostenibilità del costruito. Ciò ha portato a dover "riprogettare il progetto" e, in questa ottica, uno degli aspetti su cui si è focalizzata l'attenzione è la qualità dell'ambiente interno, qui indicata con l'acronimo IEQ, Indoor Environmental Quality, che è intesa come insieme di comfort termico, acustico e visivo e di qualità dell'aria e che assume connotazione diversa a seconda della funzione dell'ambiente.

Ad esempio, nel caso in cui l'ambiente abbia una destinazione d'uso residenziale o per il terziario, è evidentemente fondamentale garantire il comfort degli occupanti (AA.VV., 2014); mentre, nel caso in cui si tratti di un ambiente destinato a ospitare collezioni, o comunque beni culturali, la situazione cambia, nel senso che bisogna prioritariamente rispettare le condizioni necessarie per la conservazione, cercando comunque di garantire il comfort delle persone.

Il principale obiettivo di tutti coloro che si occupano di beni culturali è conservarli per le generazioni future. Agli inizi degli anni '80 Gael de Guichen (1980) e Gary Thomson (1986) parlavano di conservazione preventiva definendola come un insieme di azioni finalizzate a migliorare lo stato di un bene culturale, sia esso una collezione piuttosto che un monumento o un sito archeologico. La conservazione preventiva mira a ridurre la necessità di interventi di restauro, utilizzando una strategia basata su monitoraggi ambientali e su analisi del sistema bene-ambiente che, una volta determinate le principali cause di rischio e soprattutto la loro origine, le controllano per rallentare quanto più possibile la velocità dei processi di degrado e per definire eventuali trattamenti manutentivi. È chiaro a tutti che un oggetto esposto in un museo dovrebbe trovarsi in condizioni ottimali e conservarsi immutato nel tempo continuando così a essere, per le future generazioni, "testimonianza materiale" del cammi-

* A cura di L. Bellia e F.R. d'Ambrosio Alfano.

no di crescita civile e culturale dell'uomo (Aghemo et al., 1989; Aghemo et al., 1996). In effetti, le opere d'arte, i manufatti, i reperti subiscono comunque un deterioramento, per quanto lento nel tempo: i metalli si corrodono, le pitture sbiadiscono, la carta, il legno e i tessuti sono soggetti all'aggressione da parte di funghi e batteri, e così via. In generale, in tutti gli oggetti possono attivarsi processi degenerativi, tuttavia la conoscenza dei materiali di cui sono costituiti e il controllo di alcuni parametri che definiscono la IEQ negli ambienti in cui vengono conservati può ridurre notevolmente tale rischio.

In termini generali, qualunque intervento nel campo dei beni culturali va pianificato tenendo conto dei tre elementi principali del sistema museale: il sistema edificio-ambiente interno, le collezioni e il pubblico fruitore, ognuno dei quali può essere fonte di diverse problematiche dal punto di vista microclimatico.

Un tema progettuale di non facile svolgimento riguarda proprio il fatto che in un ambiente espositivo di un museo, di un archivio o di una biblioteca occorre il più delle volte realizzare microclimi diversi, idonei da un lato alla conservazione delle collezioni e, dall'altro al benessere dei visitatori e del personale di sorveglianza. Un tale obiettivo diviene poi praticamente impossibile se l'edificio, come di frequente accade in Italia, è esso stesso un bene culturale da salvaguardare e quindi si sovrappongono vincoli rispetto alle possibilità di intervento tecnologico-impiantistico.

Per quanto riguarda le collezioni, le problematiche sono complesse: infatti, bisogna considerare che i manufatti sono generalmente costituiti da materiali diversi, per cui si devono prendere contemporaneamente in considerazione non solo tutti i fenomeni fisici, chimici e biologici che si possono verificare in specifiche condizioni microclimatiche, ma anche le possibili interazioni che avvengono tra i materiali costituenti l'oggetto e tra questi e i materiali di finitura usati per l'esposizione e il deposito; va inoltre considerato che i manufatti hanno una storia climatica che va rispettata.

Per quanto riguarda il pubblico fruitore, da una parte i visitatori rappresentano una importante causa di degrado, in quanto alterano il microclima degli ambienti espositivi apportando energia termica e vapore acqueo e trascinando polveri e inquinanti dall'esterno, dall'altra costituiscono un elemento fondamentale nella vita di un museo e devono aver garantite le migliori condizioni di comfort e di fruizione degli oggetti esposti.

Da quanto detto risulta evidente che la buona riuscita di un progetto conservativo dipende da più variabili, alcune delle quali non facilmente controllabili. Va però ricordato che le condizioni termoigrometriche e di qualità dell'aria, determinanti sia per il benessere delle persone che per la conservazione delle collezioni, influenzano anche il consumo energetico dell'edificio. Si pensi ad esempio di quanto si potrebbe ridurre il consumo di energia se non si dovessero riscaldare e raffrescare gli ambienti per garantire il comfort termico per le persone o se non si dovessero mantenere determinati valori di temperatura e di umidità relativa per la conservazione delle collezioni (Corgnati et al., 2009; Fabi et al., 2014).

In merito al comfort degli occupanti esistono norme quali la norma UNI EN 15251 (UNI, 2008), che sarà sostituita dalla UNI EN 16798-1 (UNI, 2017a) e dal suo rapporto tecnico di accompagnamento (UNI, 2017b), che riporta i va-

lori dei parametri ambientali da utilizzare per la progettazione e la valutazione degli ambienti interni a prevalente occupazione antropica e che rientrano tra le norme europee del Mandato M/480, le cosiddette norme di seconda generazione in applicazione della Direttiva EPBD del 2010 (d'Ambrosio e Hogeling, 2017).

Anche in merito alla conservazione preventiva esistono alcune norme europee, ma i valori da mantenere negli ambienti di conservazione sono attualmente al centro di un dibattito a scala internazionale, che interessa i responsabili di numerose istituzioni museali gravate da elevati costi di esercizio dovuti alla climatizzazione artificiale degli ambienti espositivi e di deposito.

Nel seguito sono brevemente descritti i fondamenti della IEQ per gli aspetti termici, visivi e di qualità dell'aria; quelli acustici non sono stati presi in considerazione, in quanto non direttamente correlati al tema della conservazione dei beni culturali. Per l'ambiente termoigrometrico la priorità è qui sempre data, entro certi limiti, alla conservazione degli oggetti rispetto al comfort delle persone, considerando che i visitatori, così come gli operatori, possono facilmente adeguarsi alle condizioni ambientali interne variando il proprio abbigliamento. Per l'ambiente visivo la priorità data alla conservazione degli oggetti è in contrasto con le finalità espositive degli oggetti e tale aspetto va quindi affrontato con particolare attenzione, come si vedrà in seguito.

1.2 - L'ambiente termoigrometrico

All'interno degli oggetti si possono attivare processi che ne alterano lo stato originario, minandone l'integrità; evidentemente, tutto ciò è in stretta relazione con la tipologia dei materiali che costituiscono l'oggetto e con le condizioni termoigrometriche e di qualità dell'aria presenti negli ambienti in cui tali oggetti vengono conservati.

Le condizioni ottimali per la conservazione corrispondono a intervalli di valori di temperatura e umidità relativa all'interno dei quali si può ritenere di garantire che i fenomeni di degrado siano limitati o assenti; valori esterni a tali intervalli producono danni sul lungo periodo. In particolare, le alte temperature inducono danni di tipo chimico, mentre le fluttuazioni della temperatura comportano stress termici e dilatazioni; valori di umidità relativa maggiori del 45% favoriscono diverse reazioni chimiche, tra cui la corrosione dei metalli, lo scolorimento delle tinture su cotone, lino, lana e seta e l'indebolimento delle fibre organiche (tessili e carta), soprattutto se in presenza di luce, mentre valori di umidità relativa superiori al 65%, con valori di temperatura superiori a 20 °C, favoriscono lo svilupparsi di muffe e accelerano i cicli vitali di numerosi e dannosi insetti.

I valori di temperatura e di umidità relativa ottimali per numerosi materiali costitutivi delle collezioni museali, archivistiche e librerie sono reperibili sull'Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei (MBAC, 2001). L'ASHRAE, invece, considera cinque classi di controllo (da AA a D) in ragione della massima fluttuazione ammessa per i valori di riferimento di temperatura e umidità relativa dell'aria (ASHRAE, 2015).

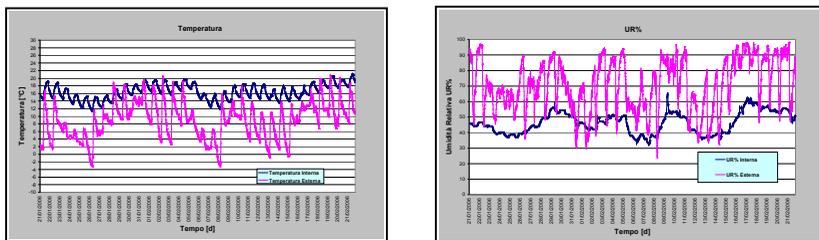


Figura 1.1 – Esempi di andamento mensile della temperatura (a sinistra) e dell'umidità relativa (a destra) dell'aria monitorato in un ambiente museale espositivo. Da (D'Agostino et al., 2007).

Come rimarcato anche nella norma UNI 10829 (UNI, 1999), illustrata al paragrafo 4.2, è fondamentale un accurato controllo delle condizioni termoigrometriche dell'aria, che non solo devono essere quelle adatte per il particolare materiale che costituisce la collezione, ma devono anche mantenersi il più possibile stabili nel tempo. In realtà ciò non sempre accade, in quanto le condizioni termoigrometriche degli ambienti espositivi e di quelli in cui i beni vengono immagazzinati generalmente variano in continuazione per i fattori più diversi, tra i quali l'affollamento del pubblico e l'infiltrazione di aria attraverso le aperture verso l'esterno; in Figura 1.1 è riportato, a titolo di esempio, l'andamento della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria misurati nel corso del mese di febbraio 2006 in una sala espositiva di un museo localizzato in provincia di Salerno.

Il controllo dell'ambiente termico all'interno di un museo può sembrare cosa banale, nel senso che si può pensare che sia sufficiente prevedere un impianto di climatizzazione; purtroppo, questa soluzione non è sempre applicabile nel nostro Paese, dove i musei sono generalmente ospitati in edifici storici che costituiscono essi stessi un bene culturale, per cui non si può che ricorrere a interventi di tipo passivo, che non intacchino l'involucro edilizio: si pensi per esempio a particolari disposizioni delle collezioni in funzione dell'orientamento dell'edificio o all'oscuramento delle aperture trasparenti per evitare l'irradiazione solare; ovviamente, interventi di questo tipo presuppongono la realizzazione di monitoraggi ambientali per verificarne la validità nel tempo. Laddove invece sia possibile realizzare un impianto di condizionamento che controlli anche alcuni aspetti relativi alla qualità dell'aria, bisogna procedere a una opportuna progettazione che tenga conto di una serie di vincoli imposti dal contenitore e dalle finalità cui esso è destinato. In Tabella 1.1 vengono sintetizzate alcune possibili soluzioni per il controllo dell'ambiente termico museale.

Non va poi trascurato il fatto che i materiali costituenti gli oggetti museali possono anche adattarsi, con il tempo, a condizioni microclimatiche non ottimali; in questi casi, per evitare rischi di grave degrado, può essere più opportuno mantenere tali condizioni piuttosto che realizzare nell'ambiente di conservazione le condizioni teoricamente ottimali per quel determinato materiale e/o oggetto.

Tabella 1.1 - Possibili soluzioni per il controllo dell'ambiente museale.

Oggetto dell'intervento	Ipotesi di intervento
involucro edilizio	sostituzione degli infissi installazione di bussole per ingresso/uscita sistemi passivi di captazione degli inquinanti materiali di finitura
impianto di climatizzazione	installazione/verifica di : - impianto HVAC&R - sistema di umidificazione/deumidificazione - sistema di filtrazione dell'aria controllo di : - modalità di diffusione e ripresa dell'aria - modalità di gestione e manutenzione - sistema di regolazione e controllo
ambiente interno	sostituzione di arredo - allestimento - materiali di rivestimento utilizzo di vetrine espositive
presenza di visitatori	studio dei percorsi di visita definizione di idonee modalità di afflusso

In alcuni casi particolari, specie in edifici storici, elevati valori dell'umidità relativa derivano dal fatto che le pareti degli edifici che ospitano i musei contengono acqua in eccesso, che, evaporando in ambiente, determina appunto un aumento dell'umidità relativa dell'aria.

La presenza di acqua nei manufatti edilizi può essere dovuta a varie cause: condensa, risalita capillare, infiltrazioni meteoriche, acqua da preparazioni a umido di materiali edili nelle opere di costruzione o di ristrutturazione, oltre che a presenza di terrapieno e a eventi accidentali.

1.3 - La qualità dell'aria

La qualità dell'aria, come detto, rappresenta l'altra causa di degrado da microclima. In generale, bastano livelli di concentrazione anche decisamente inferiori a quelli dannosi per la salute umana per provocare al patrimonio storico e artistico danni spesso irreversibili.

Le principali sostanze contaminanti indoor possono essere suddivise in tre diversi gruppi di inquinanti di natura:

- fisica, ad esempio il radon, le polveri aerodisperse, le fibre minerali e le onde elettromagnetiche non ionizzanti;
- biologica, cioè virus, batteri, funghi, muffe, pollini, acari e bacilli;
- chimica: VOC e contaminanti inorganici, fra cui CO, CO₂, SO₂, NO_x.

I contaminanti presenti nell'aria in ambienti interni provengono da fonti sia interne che esterne. L'inquinamento dell'aria all'esterno è in massima parte dovuto a processi di combustione in impianti di potenza, industrie, abitazioni e veicoli. Nella combustione, lo zolfo presente nel combustibile fossile si combi-

na con l'ossigeno dell'aria a formare l'anidride solforosa, SO_2 , che viene ossidata a solforica, SO_3 , e quindi reagisce con le molecole di acqua, formando l'acido solforico, H_2SO_4 . I gas di scarico dei veicoli, per le alte temperature raggiunte nella combustione, producono biossido di azoto, NO_2 , da cui, per ulteriore ossidazione e reazione con il vapor d'acqua, si forma acido nitrico, HNO_3 . Il biossido di azoto è anche responsabile, in presenza di composti organici volatili e di intensa irradiazione solare, della formazione di ozono, O_3 e di perossiacetilnitrato, PAN, che costituiscono il cosiddetto smog fotochimico. Questi inquinanti gassosi possono essere suddivisi in due gruppi principali, in base al loro comportamento chimico: gli acidi e gli ossidanti.

Le sostanze acide sono corrosive e incidono la superficie di materiali quali i metalli e la pietra calcarea; nei materiali a base di cellulosa causano reazioni di idrolisi, un processo di decomposizione in presenza di acqua che induce la rottura delle catene molecolari e, eventualmente, la disintegrazione del materiale interessato. I biossidi di zolfo e di azoto sono leggermente acidi, mentre l'acido solforico è un acido forte e, non essendo volatile resta sul materiale causando danni a lungo termine. Anche l'acido nitrico è un acido forte, ma, essendo volatile, evapora in breve tempo. Gli effetti delle sostanze a comportamento acido sulle collezioni possono essere:

- dissoluzione dei materiali calcarei;
- corrosione del ferro;
- perdita di resistenza e di flessibilità per gli oggetti in pelle con possibilità, nei casi estremi, di polverizzazione del manufatto;
- indebolimento e aumento della fragilità per il cotone, il lino e il raion;
- diminuzione della resistenza per lana e seta;
- progressivo inacidimento, ingiallimento e aumento della fragilità per la carta;
- ingiallimento e successiva dissolvenza dell'argento nelle immagini fotografiche;
- degradazione dei supporti delle emulsioni nelle stampe e nei negativi fotografici.

Le sostanze ossidanti provocano nei materiali organici l'ingiallimento e la formazione di acidi, che, a loro volta, provocano sia la formazione che la rottura di legami nella struttura molecolare dei materiali rendendoli molto fragili. L'acido nitrico, il PAN e, in particolare, l'ozono sono ossidanti molto potenti. Gli effetti delle sostanze ossidanti sulle collezioni possono essere:

- dissolvenza di coloranti e pigmenti;
- aumento della fragilità con formazione di crepe nella gomma;
- aumento della fragilità dei tessuti;
- indebolimento dell'agente legante nelle vernici;
- formazione di ossidi e conseguente appannamento delle superfici degli oggetti in argento, rame e ferro;
- decadimento della pirite contenuta in molti materiali fossili e conseguente formazione di efflorescenze, fessurazione, e talvolta distruzione, dell'oggetto;
- degradazione dei supporti delle emulsioni nelle stampe e nei negativi fotografici.

Nell'aria esterna è anche presente il particolato proveniente sia da processi di

combustione, la fuliggine, sia da fonti naturali, polvere e sabbia. Le particelle di dimensioni maggiori sono abrasive e possono graffiare le superfici dei manufatti; quelle di piccole dimensioni, capaci di penetrare anche nelle teche espositive, aderiscono per attrazione elettrostatica sulle superfici degli oggetti e, a causa dell'anidride solforosa assorbita dall'aria e della igroscopicità, degradano tutti i materiali sensibili agli acidi. Inoltre, tali particelle possono contenere tracce di metalli, come il ferro, che fungono da catalizzatori accelerando il deterioramento dei materiali organici.

Agli inquinanti di origine esterna si aggiungono quelli prodotti da fonti interne, come gli arredi e i reperti esposti. I principali contaminanti di origine interna sono l'acetaldeide, la formaldeide, l'acido acetico e l'acido formico.

Ridurre la concentrazione di tali inquinanti negli ambienti espositivi è una impresa ardua, soprattutto laddove non è possibile utilizzare impianti di ventilazione o di condizionamento e quando il museo si trova in zone particolarmente affette da inquinamento da fonte industriale o veicolare.

Un elenco degli inquinanti che interessano gli ambienti per la conservazione è fornito da ASHRAE (2015), che indica anche i valori di concentrazione raccomandati.

1.4 - L'ambiente vivo

Per quanto riguarda l'illuminazione nei luoghi museali occorre fare delle considerazioni rispetto a quanto si è già detto sulla priorità delle esigenze di conservazione rispetto a quelle legate al comfort dei visitatori. Le radiazioni luminose infatti, siano esse dovute a luce diurna o a sorgenti artificiali, rappresentano una fonte di potenziale pericolo per le opere d'arte in funzione della sensibilità spettrale dei materiali che costituiscono le superfici esposte a tali radiazioni. I materiali più sensibili sono principalmente quelli di natura organica, quali pigmenti naturali, stoffe, carta e papiri. Peraltro molte sorgenti, prima fra tutte proprio la luce naturale, contengono radiazioni che ricadono non solo nel campo del visibile, ma anche negli adiacenti campi dell'ultravioletto e dell'infrarosso e tali radiazioni sono anch'esse potenzialmente dannose per le opere esposte. Fermo restando che le radiazioni cosiddette non visibili possono essere escluse sia adottando degli opportuni sistemi filtranti, sia impiegando sorgenti con distribuzione spettrale della radiazione emessa ricadente nel solo campo del visibile, rimane il fatto che per visualizzare le opere esposte in ambienti museali è necessaria la luce e che, se si volesse dare priorità assoluta alla conservazione, tali opere dovrebbero rimanere in completa oscurità, impedendone paradossalmente la visione. Inoltre le condizioni di comfort visivo e di corretta percezione delle opere da parte dei visitatori sono essenziali ai fini di una adeguata fruizione di queste ultime. Per corretta percezione si intende la realizzazione di ambienti luminosi di elevata qualità, sia in termini di distribuzione spaziale, in modo da creare chiaroscuri che consentano una adeguata percezione degli spazi e dei rilievi e da impedire la formazione di ombre indesiderate o effetti velanti dovuti alla riflessione speculare su superfici lisce, che di distribuzione spettrale delle radiazioni, in modo da garantire elevate rese cromatiche e naturalezza dei colori.

A differenza di altre destinazioni d'uso, in ambito museale non vi sono pre-

scrizioni illuminotecniche applicabili a specifici parametri fotometrici da rispettare, ad esempio valori di illuminamento minimo o contrasti di luminanza, ma, ai fini della conservazione, in presenza di materiali sensibili, vengono imposti limiti superiori alla dose annua di luce e anche ai valori di illuminamento. Ciò è dovuto al fatto che purtroppo il danno prodotto dalle radiazioni luminose è cumulativo e irreversibile. Gli effetti prodotti sui materiali sensibili possono essere molteplici: scolorimento o variazioni cromatiche, screpolature, alterazione delle caratteristiche meccaniche, fragilità. Talvolta gli effetti dannosi prodotti dalle sorgenti luminose possono essere amplificati in presenza di particolari combinazioni degli altri parametri microclimatici come la temperatura e l'umidità relativa.

Al fine di soddisfare al massimo sia le esigenze di conservazione che quelle di visualizzazione nonché più in generale di fruizione delle opere, è necessaria una accurata progettazione illuminotecnica che tenga conto, tra l'altro, delle caratteristiche architettoniche e spaziali degli ambienti museali, del percorso espositivo, dell'adattamento del sistema visivo umano a differenti livelli di illuminazione, delle caratteristiche geometriche e ottiche delle opere, dei punti di vista, dei contrasti con gli sfondi.

Per tale motivo non è possibile prescrivere valori di illuminamento minimo sulle superfici che costituiscono i compiti visivi, affidando tali scelte al progettista in base a quanto detto precedentemente, al fine di realizzare contrasti di luminanza, spaziali e cromatici che permettano una confortevole e corretta percezione del museo e dei suoi contenuti. Per quanto riguarda il danno prodotto dalle radiazioni luminose, il TC CIE 157:2004, ripreso dalla norma UNI, classifica i materiali in quattro categorie, in base alla sensibilità, come riportato in Tabella 1.2.

In generale le radiazioni luminose possono danneggiare gli oggetti vulnerabili secondo tre principali meccanismi:

- effetto fotochimico;
- riscaldamento radiante;
- effetti biologici.

L'effetto fotochimico, che produce modificazioni alla struttura chimica del materiale, alterandone le proprietà, è dovuto principalmente alle radiazioni che ricadono nel campo ultravioletto, sebbene possa essere innescato anche da quelle visibili, soprattutto se di piccola lunghezza d'onda. Per questo motivo si prescrive una dose massima di UV pari a $75\mu\text{W}/\text{lm}$ e contemporaneamente un illuminamento massimo sulle opere in base alla loro sensibilità.

Sebbene l'illuminamento dipenda dalla sensibilità spettrale del sistema visivo umano (sarebbe più corretto limitare l'irradianza), è un parametro facilmente misurabile e controllabile dai progettisti e i limiti sono fissati a vantaggio di sicurezza.

Il riscaldamento dovuto alla radiazione elettromagnetica, che può verificarsi a livello locale in prossimità della superficie delle opere esposte in presenza di sorgenti ricche di radiazioni infrarosse come le lampade alogene, associato a bassi livelli di umidità relativa, produce secchezza e conseguenti screpolature e fessure.

Tabella 1.2 - Classificazione degli oggetti in base alla sensibilità alla luce (CIE, 2004; CEN, 2014).

Categoria	Descrizione dell'oggetto esposto
1. Nessuna sensibilità	L'oggetto in esposizione è interamente composto da materiali che sono insensibili alla luce. Esempi: la maggior parte dei metalli, pietre, gran parte dei vetri, ceramiche, smalti, gran parte dei minerali.
2. Bassa sensibilità	L'oggetto in esposizione include materiali durevoli che sono leggermente sensibili alla luce. Esempi: gran parte dei dipinti a olio e tempera, affreschi, cuoio e legno non dipinti, corna, ossa, avorio, lacca, alcune plastiche.
3. Media sensibilità	L'oggetto in esposizione include materiali instabili che sono moderatamente sensibili alla luce. Esempi: gran parte dei tessuti, acquerelli, pastelli, stampe e disegni, manoscritti, miniature, dipinti a tempera acquosa, carta da parati e gran parte dei campioni di storia naturale, inclusi campioni botanici, pellicce e piume.
4. Alta sensibilità	L'oggetto in esposizione include materiali altamente sensibili alla luce. Esempi: seta, coloranti noti come altamente fugaci, gran parte dell'arte grafica e documenti fotografici.

Gli effetti biologici consistono nella proliferazione di organismi o microorganismi, ad esempio funghi e muffe, innescata dalla luce. La presenza di acqua, ad esempio elevata umidità o fenomeni di condensa, incrementa drasticamente tale effetto.

Poiché l'effetto fotochimico è cumulativo, è importante limitare non solo i valori di illuminamento, ma anche l'esposizione luminosa, ottenuta integrando l'illuminamento per la durata di esposizione alla luce.

In Tabella 1.3 sono riportati i valori limite degli illuminamenti e dell'esposizione

Tabella 1.3 - Illuminamento limite ed esposizione limite in funzione della classe di sensibilità secondo la specifica tecnica CEN/TS 16163.

Classe di sensibilità	Limite superiore di esposizione luminosa annuale (lx·h/anno)	Tempo di esposizione annuale (h/anno)	Illuminamento (lx)	ISO BWS (-)
1 - Insensibile	Nessun limite	Nessun limite	Nessun limite	-
2 - Bassa sensibilità	600000	3000 ^(a)	200	7 e 8
3 - Media sensibilità	150000	3000 ^(a)	50	4, 5 e 6
4 - Alta sensibilità	15000	300 ^(b)	50	1, 2 e 3
NOTE:				
^(a) Numero tipico di ore di apertura.				
^(b) Ore annuali risultanti imponendo 50 lx.				

luminosa; nell'ultima colonna compaiono i corrispondenti valori del Blue Wool Standard, spesso usato in ambito museale per stimare l'esposizione alle radiazioni. Il test consiste di 8 pezze di lana, numerate da #1 a #8, essendo ognuna circa da 2 a 3 volte più sensibile della successiva; posizionando in corrispondenza del punto di misura i campioni di Blue Wool e lasciandoli esposti per un periodo di tempo prestabilito, si può valutare in modo approssimato, in base a quali scolorimenti si sono verificati, la dose di radiazioni ricevute.

GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati

- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.

La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito www.aicarr.org e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

Il problema della conservazione preventiva dei beni culturali è comunque sempre stato al centro degli interessi di coloro che hanno la responsabilità delle collezioni, se non altro perché il degrado dovuto alle condizioni ambientali è sempre maggiore. E' ormai conoscenza acquisita che per prevenire i fenomeni di degrado è imprescindibile il controllo degli ambienti in cui le collezioni o le singole opere sono conservate; di qui la necessità di sviluppare tecniche di monitoraggio ambientale con restituzione di dati tempestiva e di facile lettura. Questa Guida risponde all'esigenza di strutturare una metodologia di analisi dell'ambiente per la conservazione dei beni museali attraverso la condivisione di metodologie e strumenti di misura e di modalità di restituzione e valutazione dei dati monitorati. La Guida vuole fornire ai professionisti della climatizzazione una indicazione per l'operatività e ai responsabili delle collezioni una occasione di approfondimento della materia, contribuendo alla formazione di professionisti della climatizzazione preparati a operare nel settore dei beni culturali e raggiungendo l'obiettivo di creare un linguaggio comune fra discipline diverse.

La Commissione Comitati Tecnici è un organo consultivo permanente di AiCARR che ha come scopo l'aggiornamento, l'approfondimento e la divulgazione delle tematiche nei settori di interesse dell'Associazione. Svolge il proprio compito gestendo e controllando l'attività dei Comitati Tecnici, fra i quali il Comitato Tecnico Qualità Ambientale (CTQA), che ha il compito di trattare le tematiche relative agli aspetti prestazionali, progettuali e di gestione della qualità dell'ambiente interno. Il CTQA ha redatto questa Guida, istituendo un apposito Gruppo di Lavoro diretto e coordinato dai professori Francesca R. d'Ambrosio Alfano e Marco Filippi.

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.600 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, installatori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.

La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guide AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione. AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione – www.aicarr.org

CODICE MQA

www.editorialedelfino.it

ISBN 978-88-97323-69-3



9 788897 323693

€ 15,57 + iva 22% = € 19,00

Questo volume è sprovvisto del talloncino
vendita e ritiro dall'Associazione Italiana
Condizionamento dell'Aria (AICARR) -
Esente da IVA (D.P.R. 26/10/1972, n. 633 art. 2, lett. c)
Esente da bolli di accompagnamento (D.P.R. 6/10/1973, n. 627, art. 4, n. 6).

**LA MISURA DELLA QUALITÀ
DEGLI AMBIENTI INTERNI**
ISBN 978-88-97323-69-3