

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 psicrometro 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. È 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, nichel-cadmio) 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.

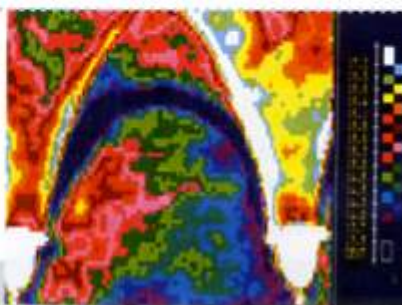


Fig. 4.10 Immagine termografica: ad ogni colore è assegnata una temperatura.

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 acquirente 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.



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.

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 4.22 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.

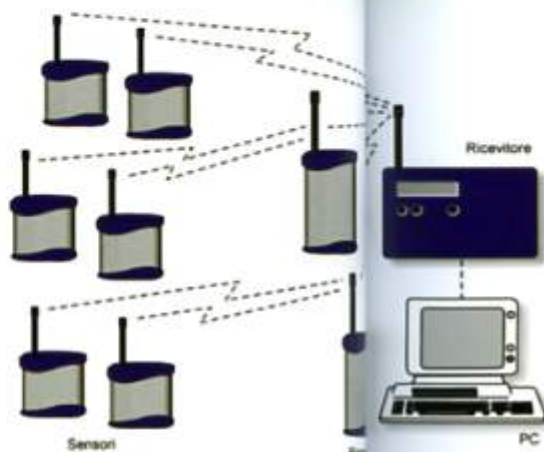


Fig 4.24

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. Suggeriamo 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 prevenire 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.

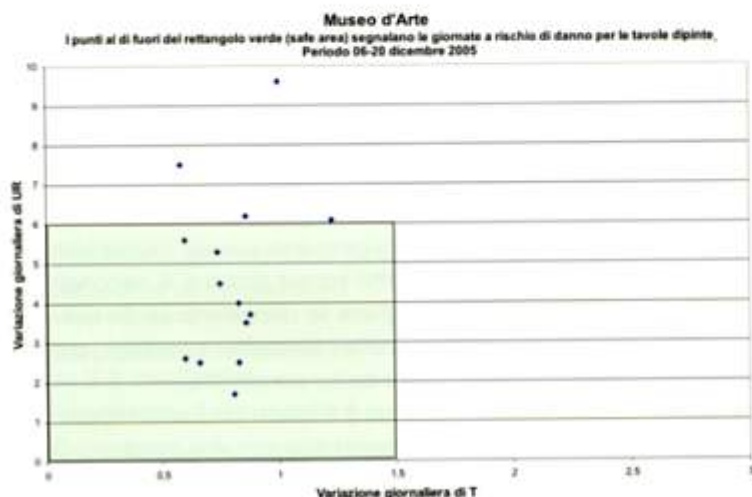


Fig 4.26 Diagramma delle condizioni di stress meccanico per tavole lignee: i punti al di fuori del rettangolo verde segnalano giornate con condizioni di rischio di danno quando la differenza di UR è superiore al 6% e la differenza di temperatura è superiore a 1.5 °C.

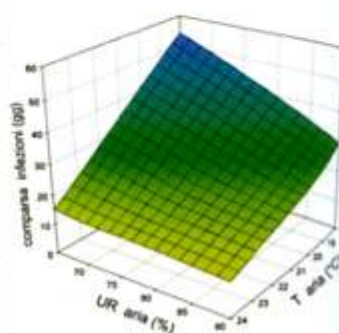


Fig 4.27 Diagramma delle condizioni di rischio di attacco fungino su superfici. L'agente biologico è il *Cladosporium*, una muffa generalmente presente ovunque che cresce con facilità quando il substrato (intonaco, legno, tela, cuoio) ha un alto tenore di umidità.

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 **sala 2**, 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 molto rischiosa per il materiale ligneo conservato.

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, necessita di un sistema di deumidificazione.

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

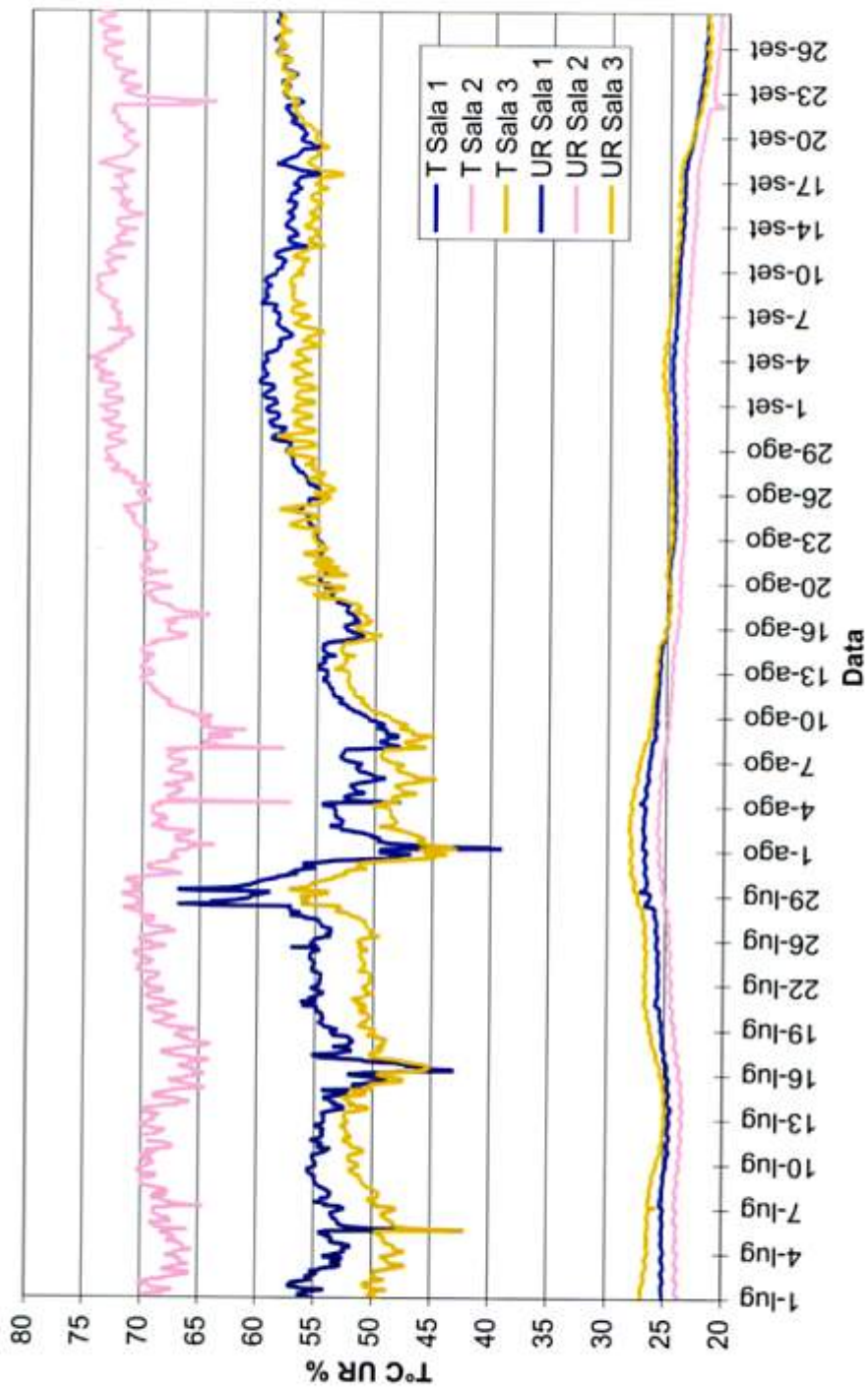


Grafico 1: Andamento termoigrometrico del trimestre nelle sale del Museo

Museo d'Arte
Sala 3
Agosto 2006

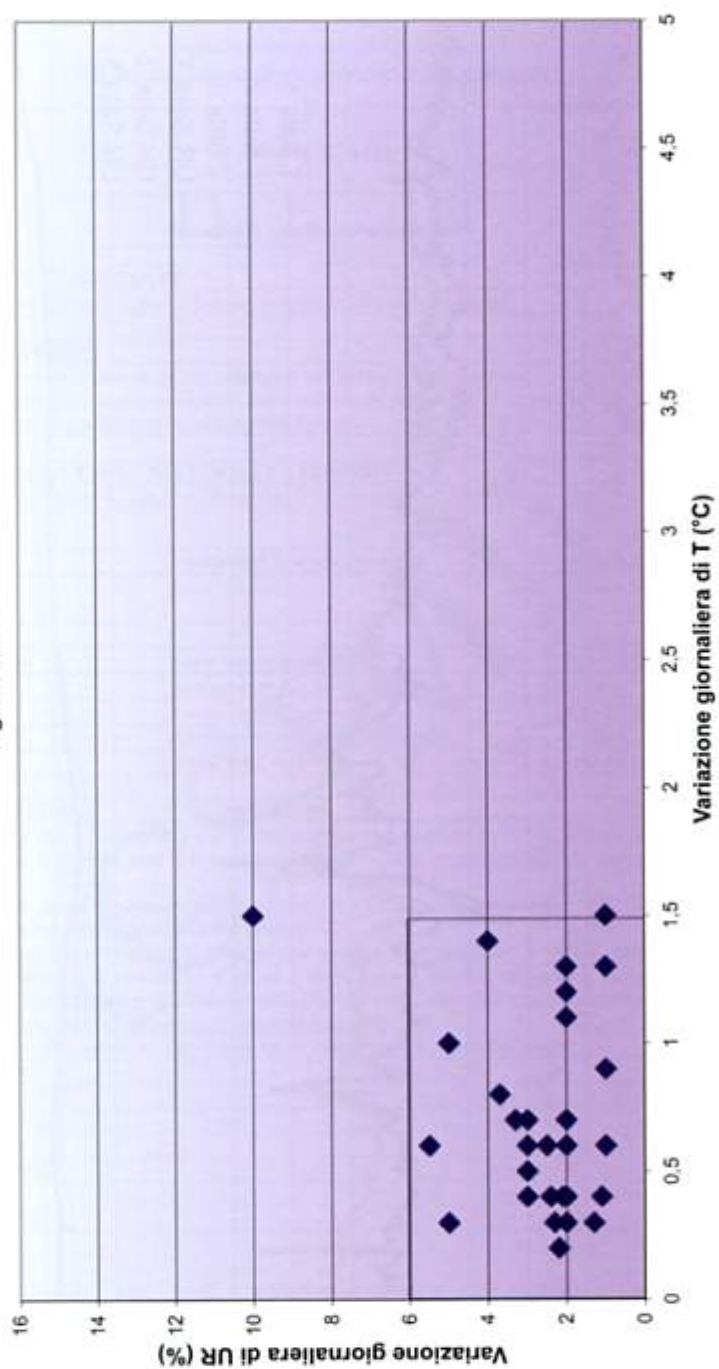


Grafico 2: Area di sicurezza per i materiali lignei (entro il rettangolo)

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.