

## Analisi preliminare sullo studio microclimatico e ambientale in relazione alla conservazione delle opere esposte alla pinacoteca del Palazzo Malatestiano di Fano

Maria Letizia Andreazzo, Maria Letizia Amadori

### *Premessa*

I manufatti collocati in ambienti chiusi sono esposti in misura potenzialmente minore all'aggressività dei fattori ambientali, tuttavia il museo non può essere considerato a priori come un luogo adatto alla conservazione.

Accade infatti, che i parametri ambientali rilevati in sale espositive e depositi talvolta non siano idonei alla conservazione delle opere in essi contenute. La conoscenza dei parametri macro e micro climatici dovrebbe, quindi, servire a mettere in atto scelte idonee per rendere tali luoghi adeguati.

I processi di degrado che interessano le opere d'arte custodite in ambienti confinati, sono il risultato dell'azione combinata di fattori ambientali fisici, chimici e biologici. L'entità dei danni che si producono sui manufatti sono il risultato dell'interazione fra i materiali costitutivi, i fattori termoigrometrici (temperatura, umidità), la radiazione luminosa, la velocità dell'aria, gli inquinanti in fase gassosa e il particolato aerodisperso (inorganico, organico e biologico).

Oggi, più che in passato, si avverte un grande interesse nei confronti degli ambienti museali e delle problematiche che presentano, probabilmente anche in seguito ad una maggiore sensibilità verso tutto quello che concerne i beni culturali.

I responsabili dei musei sono chiamati, prima di tutto, a provvedere alla più corretta conservazione del patrimonio di cui dispongono e di cui ne curano l'esposizione. *Conservare significa creare intorno all'opera d'arte un ambiente idoneo e assicurarne così la fruizione per il futuro*; una corretta gestione dei musei, infatti, non solo garantisce contro i vari rischi a cui vanno incontro le opere d'arte, ma favorisce anche una maggior fruibilità da parte dei visitatori.

Pertanto, *è necessario che ogni ambiente museale sia sottoposto a controlli microclimatici continui*, per garantire l'integrità dei manufatti in esso conservati.

Al microclima è, di fatto, riconosciuto un ruolo centrale e imprescindibile nei processi di degrado. Ogni manufatto o corpo posto in un ambiente, infatti, tende ad essere in equilibrio fisico con questo. Ciascuna variazione dei parametri microambientali, comporta la ricerca di un nuovo equilibrio e ciò influenza e altera lo stato fisico e il comportamento meccanico del manufatto<sup>1</sup>. Queste modificazioni avvengono in tempi più o meno lunghi a secon-

da che la variazione avvenga ciclicamente su base giornaliera o stagionale. Le variazioni giornaliere di temperatura e umidità relativa sono più pericolose perché, essendo più repentine, hanno un periodo di evoluzione tendenzialmente troppo breve e rapido rispetto ai tempi di riequilibrio del sistema e quindi sono più significative per il degrado del bene.

Per questo, le sale dei musei, delle collezioni, delle pinacoteche, dedicate all'esposizione permanente o temporanea di opere d'arte, devono essere adeguatamente monitorate e, di conseguenza, rese idonee alle nuove normative in materia di ambienti destinati alla conservazione di beni culturali. In Italia, per una serie di ragioni storiche, i legislatori non hanno mai rivolto particolare attenzione alla conservazione e alla fruizione delle raccolte e delle collezioni, regolando queste attività con leggi e norme riferite più in generale alla totalità del patrimonio artistico.

Negli ultimi anni, però, il museo è stato al centro di un importante dibattito che ha fatto avvertire l'esigenza di definire, con maggiore chiarezza, la sua organizzazione, i requisiti minimi necessari alla sua esistenza e la sua stessa missione. Le più recenti normative in vigore relative agli ambienti museali sono le seguenti:

- D. M. 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" (Art. 150, comma 6, D. L. n. 112/1998);
- Norma UNI 10829, 1999 "Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione-Misurazione ed analisi";
- Norma UNI 10969, 2002 "Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni".

Tali documenti contengono indicazioni teoriche e pratiche ai fini della corretta conservazione delle opere e del contenimento dei processi di degrado a loro carico: sono, infatti, stabiliti i principi generali ai quali attenersi; è prescritta la metodologia per le misurazioni relative alle condizioni ambientali termiche, igrometriche e luminose; sono suggeriti i valori di riferimento per i parametri ritenuti significativi e gli standard minimi da osservare per prevenire situazioni di rischio.

#### *Campagna microclimatica alla Pinacoteca di Fano*

Lo studio microclimatico e ambientale delle sale della Pinacoteca di Fano, si inserisce nell'ambito di un progetto promosso dall'Istituto di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo" in collaborazione con il Comune di Fano.

Il progetto *Monitoraggio del microclima e dei parametri relativi alla qualità dell'aria di alcuni musei della provincia di Pesaro e Urbino*, curato dalla dott.ssa M.Letizia Amadori dell'Università di Urbino e dalla dott.ssa Raffaella Pozzi del Museo Civico di Fano, è stato realizzato dal 2004 al 2007 grazie al finanziamento erogato dalla Provincia di Pesaro e Urbino sulla base

della Legge Regionale 75/97.

Tale progetto propone, attraverso un sistema di gestione a distanza, la creazione di uno strumento facilmente accessibile ai responsabili e ai curatori di musei, pinacoteche e collezioni in genere. Questo è finalizzato al monitoraggio e all'ottimizzazione delle condizioni ambientali nel rispetto degli standard di riferimento.

Lo scopo di questa ricerca, quindi, è fornire un valido contributo nell'individuazione dei fenomeni di degrado presenti, cercando di indicare le condizioni ottimali di conservazione e creare un punto di riferimento per analoghi monitoraggi in altre realtà museali attraverso la formulazione di appropriate metodologie d'indagine.

La campagna microclimatica è stata condotta per un intero anno all'interno di tre sale della Pinacoteca di Fano: Sala del Caminetto, Sala Grande e Sala Morganti. Tale indagine ha permesso di individuare gli andamenti stagionali per i vari parametri indagati e le escursioni giornaliere ritenute più pericolose e dannose per le opere contenute. In questo modo è stato possibile confrontare i dati ottenuti con gli standard museali proposti dalla normativa e quindi delineare delle strategie di intervento da adottare per migliorare la situazione conservativa delle sale espositive del museo.

Al fine di avere una conoscenza completa delle problematiche presenti, è stato necessario conoscere preventivamente il "soggetto" di tale indagine, cioè l'edificio sede della Pinacoteca. Non bisogna dimenticare, infatti, che ogni singolo aspetto caratterizzante la struttura espositiva (spessore delle pareti, finestre, orientamento delle singole sale rispetto ai punti cardinali e conseguente irraggiamento solare, impianti di illuminazione, climatizzazione degli ambienti, condizioni termoigrometriche, concentrazione degli inquinanti dispersi in aria, inquinanti biologici, condizioni espositive, uso di vetrine e climabox a norma, ecc.) influenza potenzialmente lo stato di conservazione dei manufatti in esso contenuti.

Per quanto riguarda la storia e l'evoluzione costruttiva del Palazzo Malatestiano, risalente al XIV secolo nella sua prima costruzione e adattato a sede della Pinacoteca e Museo Civico di Fano nel 1898, si rimanda alla bibliografia esistente<sup>2</sup>.

Il nucleo originario della Pinacoteca è costituito dai quadri provenienti dagli edifici delle Congregazioni religiose soppresse con il decreto Valerio nel 1867, cui si sono aggiunti nel tempo lasciti e donazioni.

Il continuo aumento della raccolta ha reso necessaria la redazione di un inventario e soprattutto il completo ordinamento delle opere nelle sale disponibili. La prima disposizione museale è stata guidata da un gusto museologico e museografico molto diverso da quello che oggi regola l'allestimento dei musei: un metodo enciclopedico che porta, per l'imperante *horror vaqui*, a riempire le sale il più possibile occupando ogni minimo spazio con quadri, oggetti antichi e mobilio.



dimensioni e orientamento rispetto ai punti cardinali, presentano problemi conservativi simili. Ovviamente l'entità delle problematiche riscontrate varia di sala in sala, ma queste sono facilmente riconducibili a fattori concomitanti. Sono, infatti, presenti problemi comuni come imperfezioni di alcuni infissi delle finestre, in quanto non ben serrati e sicuri, oppure mancanze di porzioni di vetro, probabilmente a causa di atti vandalici o accidentali (v. fig. 2). In questo modo, vento e pulviscolo atmosferico possono facilmente arrivare all'interno della sala. Anche l'orientamento delle sale condiziona i fenomeni di degrado e la loro entità: le finestre collocate sul lato sinistro della Sala Grande, che si affacciano sulla Corte Malatestiana, si trovano in uno stato decisamente migliore rispetto alle quattro di destra. Queste ultime, probabilmente, essendo esposte verso il mare, risultano meno protette e quindi più soggette a degrado e danneggiamenti vari. Non a caso, infatti, il lato che presenta in generale problemi conservativi più evidenti è proprio il lato destro della Sala Grande.

Gli intonaci delle pareti delle sale presentano, in alcune aree, alterazioni di colore, efflorescenze e subflorescenze saline, sollevamenti e distacchi (v. figg. 3-4). Si tratta di fenomeni dovuti probabilmente all'infiltrazione dell'acqua piovana e alla risalita capillare, questa ultima più evidente in Sala Morganti in quanto l'unica a piano terra. Qui, per far fronte a tale situazione, su tutto il lato sinistro, ad un'altezza di circa 25 cm dal suolo, sono state collocate delle bocchette d'aria a forma triangolare per contrastare la risalita capillare dell'acqua (v. fig. 5). E' probabile che la forte risalita capillare che caratterizza la Sala Morganti sia favorita anche dalla presenza di strutture esterne usate per realizzare la platea del palcoscenico collocato nella Corte Malatestiana; tale struttura fa sì che la parete rimane perennemente in ombra e quindi mai colpita da irraggiamento solare.

Per l'illuminazione artificiale vengono usate prevalentemente lampade a scarica a ioduri metallici a risparmio energetico, ma non tutte le sale sono state munite di filtri per l'abbattimento della componente UV e per il controllo di quella IR.

Parallelamente allo studio ambientale delle sale e alla raccolta dei dati microclimatici è in corso la compilazione, per ciascuna opera, di una scheda conservativa contenente tutti i dati utili ad un eventuale intervento di manutenzione e restauro. Tali schede sono relative alle opere esposte in due delle tre sale in cui è in atto la campagna microclimatica di durata annuale<sup>3</sup>. La necessità di dotare ogni singolo museo di sistemi di schedatura conservativa è sancita, oltre che da alcuni codici e statuti, dagli atti di indirizzo inerenti criteri tecnico-scientifici e *standard* di funzionamento e sviluppo dei musei emanati in attuazione del D.Lgs. n. 112/98<sup>4</sup>.

La normativa afferma inoltre che, data l'importanza dei fattori ambientali ai fini della conservazione dei manufatti, ogni museo, accanto ad una ragionata e corretta scheda conservativa, deve procedere al periodico rilevamento

delle condizioni termoigrometriche, di luminosità e qualità dell'aria degli ambienti in cui si trovano i manufatti stessi, dotandosi di strumentazioni fisse o mobili. Il monitoraggio microclimatico ha come fine quello di evidenziare l'influenza dell'ambiente sullo stato di conservazione dei manufatti e quindi suggerire indicazioni circa i provvedimenti necessari per raggiungere le condizioni ottimali per la conservazione. (Figg. 2-3-4-5)

#### *Codice di pratica degli ambienti museali*

A fronte di quello che è stato detto, si prenderanno in considerazione qui di seguito le caratteristiche che un museo dovrebbe presentare, sia che si tratti di uno importante che di uno minore.

Innanzitutto occorre ricordare che i musei italiani, a differenza della maggior parte di quelli esteri, sono essi stessi un'opera d'arte. Generalmente sono situati in grandi edifici storici che, rispetto alle strutture moderne, hanno il vantaggio di essere idonei, per loro natura, alla conservazione perché la loro struttura muraria a pareti molto spesse, quindi con una grande inerzia termica, aiuta a mantenere l'atmosfera interna in condizioni di equilibrio termoigrometrico, cioè con variazioni molto più lente e graduali. Tuttavia, essendo essi stessi opere d'arte, è spesso difficile effettuare interventi necessari a rendere gli ambienti più confortevoli e dotati di sistemi attivi (es. condizionamento, riscaldamento, ecc.), per una corretta gestione in termini di conservazione. Viceversa, gli edifici moderni, che permettono più liberamente qualsiasi intervento nella loro struttura, hanno notevoli limiti in termini di conservazione in quanto, di frequente, sono costituiti da murature meno spesse; tali strutture hanno scarsa capacità termica e spesso, per sfruttare meglio la luce diurna, sono dotati di pannelli di vetro che non favoriscono un'atmosfera stabile interna.

In entrambi i casi, qualora siano presenti degli impianti di riscaldamento e condizionamento, è di fondamentale importanza una loro corretta gestione. Il riscaldamento degli ambienti museali deve essere fatto con criteri diversi da quelli usualmente adottati per il benessere dell'uomo. Bisogna tener presente come, ogni scelta sul tipo di impianto, ubicazione, potenza e regolazione, influisce sulla distribuzione spazio-temporale delle variabili ambientali, soprattutto quelle di temperatura e umidità relativa. Sono infatti questi due parametri e le loro variazioni, i maggiori responsabili del degrado e dell'invecchiamento più o meno accelerato delle opere d'arte e di tutti gli altri fenomeni chimici e biologici correlati.

Utilizzando, infatti, sistemi attivi, quali il condizionamento e il riscaldamento, non è semplice realizzare distribuzioni spaziali omogenee di temperatura e umidità in quanto, tali dispositivi, vengono posti in alcuni punti delle sale di esposizione e in questi punti le caratteristiche termoigrometriche delle masse dell'aria ambientale diventano molto diverse da quelle circostanti. L'immissione di aria calda/fredda o di vapore da punti singolari com-

porta, infatti, gradienti spaziali spesso marcati e causa stress ai materiali che cercano di raggiungere i nuovi equilibri continuamente variabili nel tempo e nello spazio<sup>5</sup>. Veloci variazioni termoigrometriche non danno il tempo al materiale di raggiungere i nuovi valori di equilibrio che a loro volta continuano a cambiare. Purtroppo, nelle decisioni di come realizzare un impianto, si dà troppo spesso priorità al benessere dell'uomo, nell'errata convinzione che anche i materiali abbiano limiti di tollerabilità simili<sup>6</sup>.

Il riscaldamento/condizionamento delle stanze è un problema molto delicato poiché, la gestione degli impianti normalmente prevede un'accensione intermittente, legata all'orario di apertura al pubblico. Ciò è molto dannoso in quanto crea condizioni microclimatiche continuamente variabili con conseguenti shock termici. Il funzionamento degli impianti deve essere continuo per tutta la stagione in cui esso è richiesto e il livello termoigrometrico degli ambienti va regolato tenendo conto sia delle condizioni naturali, sia dell'utilizzo dell'ambiente, in modo da assicurare una umidità relativa costante, senza interruzioni notturne.

Quindi, è di fondamentale importanza conoscere l'ambiente nel suo naturale comportamento, in funzione della sua struttura architettonica e della climatologia locale, studiandolo approfonditamente nei diversi cicli stagionali e giornalieri<sup>7</sup>.

Il fine principale resta sempre quello di realizzare condizioni microclimatiche il più costanti possibile sia nel tempo che nello spazio. Questo deve essere ottenuto con il minimo inserimento di sistemi attivi. Si dovrebbero sfruttare al massimo le potenzialità dell'ambiente nella stabilizzazione del microclima per mezzo di sistemi "passivi", meno invasivi, quali ad esempio coibentazione termica, schermatura della radiazione solare diretta e utilizzo di materiali come il legno che aiutano a mantenere una umidità relativa costante. Inoltre, gli interventi passivi vengono effettuati al fine di creare un ambiente che varia molto lentamente in maniera naturale, al quale le opere possono adeguarsi senza pericolosi stress.

In un edificio adibito ad esposizione è importante individuare la più idonea ubicazione delle opere a seconda della loro sensibilità alle variazioni termoigrometriche e delle problematiche della struttura. La conoscenza perciò di come si distribuiscono le correnti d'aria all'interno, può aiutare a stabilire le zone soggette a maggior rischio, permettendo una collocazione più oculata delle opere più delicate; ad esempio un'opera collocata tra due porte subirà certamente, anche per il semplice transito del pubblico, una maggiore sollecitazione rispetto ad un'altra, posta in una zona al di fuori di questa circolazione d'aria.

E' altrettanto utile limitare il più possibile gli scambi con l'esterno, che presenta sempre un'alta variabilità climatica legata alla situazione meteorologica. Per questo è necessaria una corretta gestione delle aperture in quanto sono spesso una delle principali cause di repentini e continui scambi con l'e-

sterno. Le finestre infatti, o per le loro sconessioni, molto frequenti in edifici antichi, o per la loro non corretta gestione, scambiano importanti masse d'aria con l'ambiente esterno. Inoltre, è pratica comune, tenerle aperte per un certo periodo di tempo per il ricambio dell'aria, dopo il passaggio dei visitatori, facendo più attenzione al benessere umano rispetto a quello delle opere. Le finestre non dovrebbero permettere né l'immissione di inquinanti dall'esterno, né l'intrusione diretta della radiazione solare particolarmente nociva per le opere d'arte nel caso le colpisca direttamente, sia per gli effetti termici, sia per gli effetti di alcune lunghezze d'onda (UV, IR).

La situazione, quindi, è complicata dalla pluralità di soggetti (opere d'arte, visitatori, addetti ai lavori..); un rimedio potrebbe essere quella di rispondere alle esigenze e di fornire le condizioni idonee per ciascun soggetto senza dare priorità a nessuno<sup>8</sup>.

L'illuminamento è un compromesso tra esigenze di apprezzamento visivo e buona conservazione dell'opera ed è un ulteriore problema che si trova a dover affrontare un museo.

La luce è un'energia che necessariamente colpisce l'opera d'arte e, se assorbita, causa in essa fenomeni che vanno dal semplice riscaldamento, a reazioni più complesse di tipo fisico o chimico. Non si vuole in questo contesto fare una trattazione sui meccanismi di degrado causati dalla luce, ma soltanto fare presente che l'illuminazione, per l'energia emessa, comporta sia un effetto diretto sul materiale colpito che indiretto sull'ambiente.

Ai fini della conservazione occorre innanzitutto cercare di illuminare l'oggetto con dell'energia che ha la massima emissione nel visibile, eliminando, per quanto possibile, tutto il resto dello spettro elettromagnetico, soprattutto la radiazione infrarossa (IR) e quella ultravioletta (UV), dannose per le superfici<sup>9</sup>. Per quanto riguarda l'illuminazione naturale, si deve quindi evitare di esporre i manufatti più sensibili, come tavole dipinte o altri materiali di tipo organico, a improvvisi apporti energetici.

Studiare l'ambiente, la sua orientazione e quali superfici vengono interessate dalla radiazione solare proveniente dalle aperture nel corso della giornata e delle varie stagioni, è utile al fine di individuare l'ubicazione ottimale per le opere d'arte in base alla loro sensibilità e tollerabilità. Inoltre, l'adozione di pellicole, filtri, tende, diffusori e vetri ad alta intensità collocati, ad esempio, in prossimità delle finestre, può sicuramente diminuire l'intensità della radiazione, ma soprattutto abbattere la componente ultravioletta e controllare quella infrarossa.

Anche per l'illuminazione artificiale valgono le stesse attenzioni; in questo caso, però, visto che si tratta di dispositivi gestibili dall'uomo, è possibile dosare bene l'illuminazione utile alla visione per ridurre al minimo l'energia incidente. Questo tipo di illuminazione, tuttavia, ha anche l'inconveniente di poter causare circolazioni d'aria nell'ambiente per via delle celle convettive che si formano sopra il corpo illuminante. Queste celle di aria più calda

trasportano a quote più elevate calore e polveri sospese che possono successivamente depositarsi sulle superfici più fredde. All'atto dell'istallazione di nuove sorgenti luminose occorre, quindi, porre molta attenzione sia nella scelta del sistema di illuminazione in base alla tipologia di lampada<sup>10</sup> (tradizionali a incandescenza, alogene, ad alogenuri, neon, ecc), sia al loro posizionamento e alla loro modalità di utilizzo (continuo o intermittente).

Queste informazioni devono essere utili nella scelta di un sistema di illuminazione da adottare in un ambiente di conservazione, ma bisogna anche valutare le scelte in base alla tipologia delle opere esposte, in quanto si richiede un utilizzo assai diversificato delle fonti di luce a seconda dei tipi di manufatto. Il DM 10 maggio 2001 risulta essere in questo senso molto utile poiché indica, in varie tabelle, gli oggetti esposti divisi in quattro categorie, in relazione alla fotosensibilità, e corrispondenti quantità massime di illuminamento (v. tabella n.3). Si consiglia l'utilizzo di sorgenti depurate dalle componenti UV e IR e con ridotto livello di illuminazione (prudenzialmente 50-150 lux).

Per la modalità di utilizzo, la soluzione dell'intermittenza, secondo cui si attiva l'illuminazione solo in presenza di pubblico, potrebbe essere presa in considerazione nel caso in cui il museo fosse poco frequentato mentre, in caso di grande affluenza, provocherebbe grandi shock e frequenti cicli termogrometrici.

Per quanto riguarda le pulizie è sconsigliabile l'uso dell'aspirapolvere in quanto causa movimenti d'aria e risollevarimenti del particolato depositatosi al suolo nelle ore di chiusura al pubblico. Anche l'uso di metodi tradizionali, come il lavaggio dei pavimenti direttamente con acqua, causa nell'ambiente un aumento di umidità. Ogni intervento di pulizia deve essere effettuato in modo da non alterare le condizioni interne di temperatura, umidità e turbolenza è preferibile utilizzare sistemi di aspirazione dotati di tubazioni che espellono direttamente all'esterno il particolato aspirato dalle sale. Ultima, ma non meno importante, considerazione da fare è relativa all'apporto di notevoli quantità di calore, vapore e anidride carbonica causato da un'elevata concentrazione di pubblico. Questa è in grado di alterare il naturale equilibrio dell'aria nell'ambiente creando notevoli gradienti termici e alimentando, di conseguenza, scambi tra aria e pareti. Soluzione valida a tali problemi, visto che non si può negare a nessun visitatore l'opportunità di godere della vista di un'opera d'arte, è quella di limitare i grossi affollamenti e il tempo di permanenza in un ambiente. In questo modo il museo può assolvere alla sua missione educativo-didattica e contemporaneamente garantire alle opere un ambiente idoneo in termini conservativi.

Il controllo degli ambienti museali è un problema notevolmente complesso, che richiede l'intervento di esperti di numerose discipline in stretta collaborazione. È importante sottolineare che la completa conoscenza dell'ambiente e delle sue specifiche problematiche permette di effettuare le più idonee

scelte di gestione che, tuttavia, a causa delle interconnessioni con altri fenomeni e delle innumerevoli questioni presenti negli ambienti in esame, non sono sempre così facili.

Il recente D.M. 10 maggio 2001 “ *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*” rappresenta, quindi, un passo importante in quanto gli standard proposti devono essere percepiti come un obiettivo o un percorso tendenziale che ogni istituzione museale dovrebbe perseguire durante lo svolgimento del suo ruolo.

Ci si riferisce appunto agli standard museali, spesso citati, che sono di importanza assoluta se il museo vuole garantire alle opere e ai visitatori un ambiente conservativo idoneo. Negli Atti di indirizzo, vengono proposte indicazioni con valori standard entro i quali, gli operatori e gli addetti ai lavori, devono cercare di mantenervi i singoli parametri microclimatici. Le variabili sono generalmente temperatura, umidità, illuminazione, e i loro intervalli accettabili vengono considerati condizioni “ottimali” per le opere d’arte.

Il rischio di degrado delle collezioni d’arte è direttamente connesso alle non idonee condizioni microclimatiche interne dell’edificio contenitore, che dipendono da più fattori, quali essenzialmente la temperatura, l’umidità relativa dell’aria e l’inquinamento indoor. L’obiettivo principale è quello di riuscire a conoscere l’ambiente museale dal punto di vista microclimatico e quindi individuare i fattori che scatenano i processi di degrado delle opere d’arte, al fine di pervenire alla scelta di interventi tesi a migliorare il loro stato di conservazione.

L’insieme dei fattori termoigrometrici che regolano le condizioni climatiche di un ambiente di conservazione, sia interno che esterno, costituisce il microclima<sup>11</sup>.

Il microclima è la sintesi delle condizioni dell’ambiente fisico dovuto a ciascuna variabile atmosferica (es. temperatura, umidità, insolazione, correnti) o scambi con altri corpi (es. emissioni infrarosse, calore, illuminazione, ventilazione) per un periodo di tempo rappresentativo.

Visto e considerato che si andrà in seguito a parlare delle variazioni e delle escursioni di grandezze quali temperatura, umidità e illuminamento, sembra doveroso fare qui di seguito delle brevi precisazioni su questi parametri indagati.

TEMPERATURA (T)<sup>12</sup> La temperatura è un parametro molto importante nella conservazione delle opere d’arte e, il suo ciclo giornaliero o stagionale, induce nei manufatti un deterioramento di tipo meccanico. La sua variazione infatti comporta deformazioni fisiche nei manufatti in quanto, avendo ogni materiale un coefficiente di dilatazione termico caratteristico, induce espansioni differenziali nei materiali costitutivi e forze di tensione tra superficie e struttura sottostante. In un ambiente confinato in particolare, ad ogni oscillazione termica, la superficie esterna del manufatto è quella che per prima arriva ad equilibrarsi mentre l’interno si modifica più lentamente.

La variazione di temperatura influenza inoltre i valori di umidità relativa dell’ambiente, lo spostamento e i fenomeni di evaporazione, condensazione e solidificazione dell’acqua all’interno dei manufatti. La temperatura, in

sinergia con altri parametri quali l'umidità, la luce e la ventilazione, se mantenuta nell'intervallo tra 20° e 35°C, può determinare l'habitat favorevole per la vita di biodeteriogeni.<sup>13</sup>

Nella realizzazione di una campagna microclimatica, assumono un aspetto fondamentale nella individuazione dei fattori di degrado, i valori della temperatura di superficie in determinati punti. La TEMPERATURA SUPERFICIALE (Ts), infatti, è la temperatura di contatto ed è indispensabile nell'analisi termodinamica di un ambiente in quanto permette di capire, in relazione alla temperatura ambientale, i processi in atto.

La disomogeneità tra aria e pareti, è la responsabile dei movimenti delle masse d'aria; ogniqualvolta, infatti, la temperatura dell'aria non è uguale a quella della superficie, l'aria in prossimità di questa varia la propria densità<sup>14</sup>. UMIDITA'<sup>15</sup> Il termine generico di "umidità" è spesso utilizzato quando si parla di umidità presente nell'atmosfera<sup>16</sup>. E' il fattore più importante in quanto veicolante dei maggiori inquinanti e elemento necessario al verificarsi di molte reazioni chimiche, dannose per una buona conservazione.

Esistono diversi termini specifici ciascuno dei quali rappresenta un diverso parametro usato per descrivere una particolare proprietà; quello più importante e utile ai fini della conoscenza del microclima di un ambiente è senza dubbio l'umidità relativa.

Assieme alla temperatura, l'UMIDITA' RELATIVA (UR) è il parametro più importante nello studio del comportamento dei materiali. Le variazioni di questo parametro sono alla base degli stress che subiscono i materiali.

Essa esprime il grado di saturazione del vapore nell'aria cioè il rapporto percentuale tra la massa di vapore presente e quella di vapore necessaria per saturare lo stesso volume d'aria alla stessa temperatura. Essa dipende sia dalla temperatura che dalla quantità di vapore presente nell'atmosfera (umidità assoluta). Questo spiega perché, se la temperatura viene mantenuta costante, all'aumentare del contenuto di vapore nell'aria si ha un aumento dell'umidità relativa. Viceversa, a contenuto di vapore costante, un aumento termico comporta una diminuzione di umidità relativa.

ILLUMINAMENTO L'illuminamento o intensità luminosa, è definito come la quantità specifica di radiazione luminosa che colpisce una superficie. Le radiazioni elettromagnetiche provenienti da sorgenti di luce naturale o artificiale sono dannose in quanto possono attivare reazioni chimiche, come ad esempio variazioni di colore delle superfici.

L'energia solare che giunge su una superficie si trasforma, quindi, non solo in calore, che causerà un aumento di temperatura, ma, a seconda della lunghezza d'onda, verrà utilizzata nei processi fotochimici. Questi produrranno la trasformazione di alcune sostanze esposte, attraverso la modifica dei legami chimici, in sostanze aventi caratteristiche chimiche e fisiche differenti da quelle di partenza<sup>17</sup>.

L'unità di misura dell'intensità luminosa si misura in LUX e la raccomanda-

zioni internazionali hanno individuato quattro categorie di fotosensibilità per reperti e manufatti proprio per evitare danni e stabilire dei livelli massimi di illuminamento<sup>18</sup>.

Inoltre, visto che il danno della radiazione sui materiali è proporzionale, oltre che all'intensità luminosa, anche al tempo di esposizione, è stato introdotto il calcolo dell'esposizione luminosa/dose di luce annuale (LO, LUX per h/anno) che mette in relazione l'intensità luminosa con il tempo per cui l'oggetto è sottoposto all'incidenza dei raggi. L'esposizione energetica totale annua è il prodotto tra l'illuminamento medio e il tempo di esposizione.

Nel tentativo di un adeguamento alle condizioni ottimali di conservazione chimico-fisica dei manufatti sancite attraverso il D.M. 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei", andrebbe quantomeno assicurato per le opere esposte il rispetto dei basilari parametri microclimatici indicativi, riportati nelle riassuntive Tabelle 1,2 e 3, presenti nel decreto stesso.

**Tabella 1.** Valori termoigrometrici consigliati per assicurare le condizioni ottimali di conservazione chimico-fisica dei manufatti

| Manufatti   | Umidità relativa (%) | Temperatura (°C)   |
|---|----------------------|--|
| Armature in ferro, armi   | <40                  |  |
| Avori, ossa   | 45-65                | 19-24  |
| Bronzo  | <55                  |  |
| Carta, cartapesta   | 50-60                | 19-24  |
| Collezioni anatomiche   | 40-60                | 19-24  |
| Collezioni mineralogiche, marmi e pietre                        | 45-60                | <30  |
| Cuoio, pelli, pergamena   | 50-60                |  |
| Dischi, nastri magnetici  | 40-60                | 10-21  |
| Erbari e collezioni botaniche                                   | 40-60                |  |
| Film  | 30-50                | -5 - +15*  |
| Fotografie (b/n)  | 20-30                | 2-20**   |
| Insetti e scatole entomologiche                                 | 40-60                | 19-24  |
| Lacche orientali  | 50-60                | 19-24  |
| Legno   | 40-65                | 19-24  |
| Legno dipinto, sculture policrome                               | 45-65                | 19-24  |
| Libri, manoscritti  | 50-60                | 19-24  |
| Materiale etnografico   | 40-60                | 19-24  |
| Materiale organico in genere                                    | 50-65                | 19-24  |
| Materie plastiche   | 30-50                |  |
| Metalli e leghe levigati, ottone, argento, peltro, piombo, rame | <45                  |  |
| Mobili con intarsi e lacche                                     | 50-60                | 19-24  |
| Mosaici e pitture murali  | 45-60                | min 6 °C (inverno)<br>max 25 °C (estate)<br>con max gradiente<br>giornaliero 1.5°C/h |

|   |       |       |
|---|-------|-------|
| Oro   | <45   |       |
| Papiri  | 35-50 | 19-24 |
| Pastelli, acquerelli, disegni, stampe           | 50-60 | 19-24 |
| Pellicce, piume                                 | 45-60 | 15-21 |
| Pitture su tela                                 | 35-50 | 19-24 |
| Porcellane, ceramiche***, gres, terracotta      | 20-60 |       |
| Seta  | 50-60 |       |
| Tessuti, tappeti, arazzi, tappezzeria in stoffa | 40-60 |       |
| Vetri e vetrate stabili                         | 25-60 |       |

\* In funzione della sensibilità delle pellicole.

\*\* L'intervallo è valido per fotografie con supporti in carta, materiale plastico, vetro. Invece per supporti a base di nitrato e per vetri con emulsione al collodio sono consigliate temperature più basse.

\*\*\* Per particolari manufatti ceramici cotti a temperatura piuttosto bassa il valore dell'UR deve essere <45%.

**Tabella 2.** Condizioni microclimatiche per la prevenzione di attacchi microbiologici su materiali organici

| Manufatti organici         |                          | Umidità<br>relativa (%)<br>-UR | max variaz.<br>giornaliera | Temperatura<br>(°C)<br>-T | Max variaz.<br>giornaliera |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Dipinti                    | su tela                  | 40-55                          | 6                          | 19-24                     | 1,5                        |
| Dipinti                    | Su tavola                | 50-60                          | 2                          | 19-24                     | 1,5                        |
| Legno                      |                          | 50-60                          | 2                          | 19-24                     | 1,5                        |
|                            | archeologico             | 50-60                          | 2                          | 19-24                     | 1,5                        |
|                            | bagnato                  | -                              |                            | <4*                       |                            |
| Carta                      |                          | 40-55                          | 6                          | 18-22                     | 1,5                        |
|                            | pastelli,<br>acquerelli  | < 65                           |                            | < 10                      |                            |
|                            | libri e<br>manoscritti   | 45-55                          | 5                          | < 21                      | 3                          |
|                            | materiale<br>grafico     | 45-55                          | 5                          | < 21                      | 3                          |
| Cuoi, pelli e<br>pergamene |                          | 40-55                          | 5                          | 4-10                      | 1,5                        |
| Tessuti                    | di natura<br>cellulosica | 30-50                          | 6                          | 19-24                     | 1,5                        |
|                            | di natura<br>proteica    | >50-55                         |                            | 19-24                     | 1,5                        |
| Collezioni<br>etnografiche |                          | 20-35                          | 5                          | 15-23                     | 2                          |
| Materiali<br>stabili       |                          | 35-65                          |                            | -30                       |                            |

\* La temperatura non deve raggiungere 0 °C.

**Tabella 3. Illuminamenti raccomandati**

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

### *Strumentazione e metodologia*

Dopo aver presentato quali sono i parametri microclimatici da tenere in considerazione e le indicazioni consigliate dalla normativa, si passa ora a delineare la metodologia con cui è stata impostata la campagna microclimatica alla Pinacoteca e le modalità di funzionamento della strumentazione adottata.

Vista e considerata l'importanza dei risultati che una campagna microclimatica può fornire, per ottenere dati significativi e soprattutto per permettere di adottare delle decisioni legate agli andamenti stagionali, è preferibile, quando possibile, che la raccolta organica dei dati copra un periodo di tempo di almeno 12 mesi.

Il monitoraggio microclimatico all'interno della Pinacoteca del Palazzo Malatestiano di Fano, infatti, è iniziato il 22 dicembre 2005 ed è tuttora in corso. In questo lavoro saranno presi in considerazione i dati rilevati dall'inizio della campagna fino al 9 gennaio 2007.

La valutazione delle condizioni ambientali delle sale espositive ha permesso

di verificare se le scelte di gestione degli ambienti museali sono idonee e di migliorare e correggere le situazioni di rischio.

I dati ambientali ottenuti dalla campagna microclimatica (sotto forma di grafico e di numeri) devono costituire una porzione della storia del museo ed essere raccolti accuratamente e consultati.

Lo studio microclimatico si è basato principalmente sul rilevamento dei seguenti parametri:

- Temperatura dell'aria ambiente (T);
- Temperatura superficiale (Ts);
- Umidità relativa (UR);
- Illuminamento.

Le tecniche di misura di tali parametri possono essere di due tipi: una basata su misure puntuali e istantanee effettuate mediante un set di strumenti portatili caratterizzati da semplicità d'uso, trasportabilità e facilità di manutenzione; l'altra basata sul monitoraggio continuo delle grandezze interessate mediante un sistema di acquisizione dati<sup>19</sup>. Questo secondo tipo di monitoraggio, adottato per la Pinacoteca<sup>20</sup>, infatti, viene utilizzato per il controllo dei manufatti su lunghi periodi o continuativamente nel tempo; solitamente vengono utilizzate apparecchiature fisse e automatiche con raccolta dei dati centralizzata, chiamate "centraline".

Trattandosi di sistema wireless (fig.6<sup>21 22</sup>), cioè senza fili, la centralina utilizza sensori-*cordless*<sup>23</sup> con trasmissione radio del segnale. Questo permette di valutare in continuo il comportamento termoigrometrico per mezzo di sensori sparsi nelle differenti stanze del museo. Inoltre, questo sistema senza cavo elimina completamente il problema della posa dei cavi in ambienti storici, dove spesso non è possibile o è molto difficoltoso e costoso operare modifiche alla struttura.

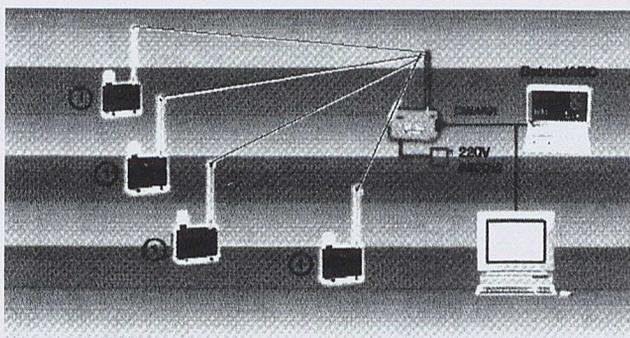


Figura 6. Sistema wireless: cordless – ricevitore – sistema di acquisizione (Babuc ABC) - Personal computer.

I sensori per la rilevazione sono stati dislocati nella Sala del Caminetto (Sensore 013), due nella Sala Grande (Sensore 012, sul lato destro della sala, e sensore 044, sul lato sinistro) e nella Sala Morganti (Sensore 042), come schematizzato nella figura 7.

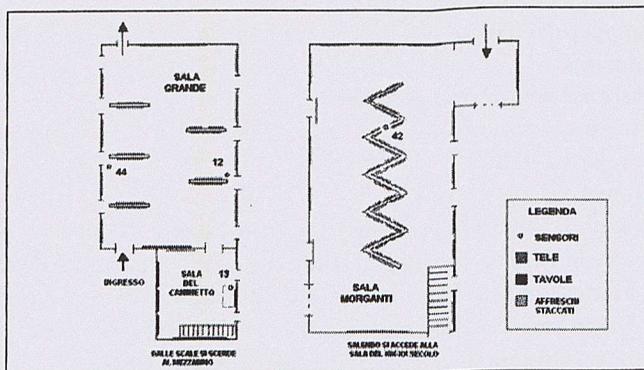


Figura 7. Schema riassuntivo sulla disposizione dei sensori Cordless nelle tre sale.

Due dei quattro sensori, precisamente il sensore 12 e il 13, sono stati muniti anche di due sonde esterne, quella luxmetrica e quella per la temperatura superficiale, posizionate rispettivamente la prima vicino al cordless, la seconda appoggiata alla parete tramite nastro adesivo di carta.

Qui di seguito è schematizzato tutto il sistema di monitoraggio con i numeri dei sensori, delle sonde relative alle grandezze esaminate e la loro posizione nelle tre sale indagate.

**Tabella 4.** Schema base delle grandezze rilevate per ciascun sensore e loro localizzazione.

|  | Piano terra, Sala Morganti - Sensore 042 |       | II° piano, Sala Grande - Sensore 044 |       | II° piano, Sala Grande - Sensore 012 |       |       |       | I° piano, Sala del Caminetto - Sensore 013 |       |       |       |
|--|--|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|
|  | S. 11                                    | S. 12 | S. 13                                | S. 14 | S. 15                                | S. 16 | S. 17 | S. 18 | S. 19                                      | S. 20 | S. 21 | S. 22 |
| Temperatura  | X  |       | X                                    |       | X                                    |       |       |       | X  |       |       |       |
| Umidità relativa                                   |  | X     |                                      | X     |                                      | X     |       |       |  | X     |       |       |
| Temperatura Superficiale a contatto delle murature |  |       |                                      |       |                                      |       | X     |       |  |       | X     |       |
| Illuminamento                                      |  |       |                                      |       |                                      |       |       | X     |  |       |       | X     |

Nell'impostare una campagna microclimatica è necessario, per una corretta e significativa analisi delle grandezze indagate, definire e programmare i rispettivi intervalli di acquisizione (tra 1 secondo e 12 ore) con cui devono essere raccolti i dati dai sensori. L'impostazione data al nostro strumento è di 5 minuti.

Una volta acquisiti i dati, secondo le impostazioni precedentemente disposte, è necessario elaborarli al meglio per ottenere risultati e informazioni interessanti sugli andamenti microclimatici. Attraverso programmi specifici è stato possibile elaborare report e diagrammi statistici a base giornaliera, mensile e annuale<sup>24</sup>.

### Risultati della campagna di misure

L'elaborazione dei dati provenienti dai quattro *sensori-cordless*, posizionati nella Pinacoteca di Fano, è stata molto utile non solo per conoscere l'andamento dei parametri indagati e le loro variazioni, ma anche per fare un confronto dei risultati tra le varie sale e quindi optare per scelte conservative differenti a seconda della problematica più urgente.

Il primo parametro analizzato è la temperatura. Come già detto, la Pinacoteca di Fano non dispone di impianti di riscaldamento e condizionamento dell'aria, né di accorgimenti per il controllo passivo della temperatura e presenta diverse problematiche conservative. Non tutte le sale espositive, quindi, soddisfano le caratteristiche che la normativa suggerisce per un idoneo ambiente museale, in particolare i valori di temperatura raccomandati, 19-24 °C, con variazione massima giornaliera di 1,5°C.

La temperatura all'interno della Pinacoteca è molto variabile e segue un andamento stagionale accentuato come si può notare nel grafico 1.

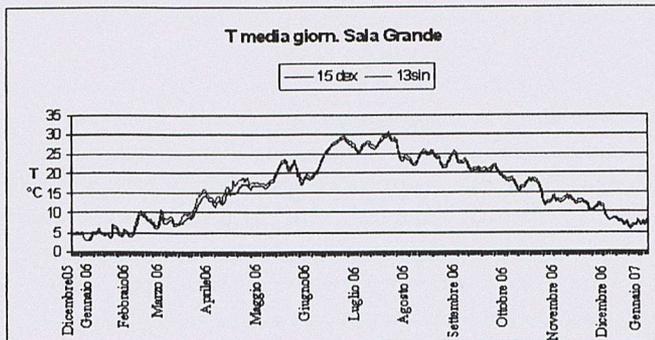


Grafico 1. Andamento della temperatura nella Sala Grande rilevata dai due sensori-cordless.

Questa stagionalità viene accompagnata da una ciclicità giornaliera<sup>25</sup>; rispetto al periodo invernale, le variazioni giornaliere estive sono più frequenti e

più elevate in quanto l'ambiente risente delle maggiori escursioni tra giorno e notte e si verificano più scambi con l'esterno per l'elevata affluenza turistica estiva.

Determinante per la temperatura è l'apertura del museo al pubblico che determina delle variazioni, più o meno accentuate, nell'andamento ciclico giornaliero a seconda della stagione.

L'andamento invernale, invece, risulta notevolmente più graduale rispetto a quello estivo; data la poca presenza di visitatori, la mancanza di impianti di riscaldamento e le escursioni esterne mitigate; si rilevano variazioni giornaliere medie di 0,5°C.

Un caso particolare da evidenziare è la manifestazione promossa dal museo "Aperitivo d'arte" che ha avuto luogo il 29 e il 30 Dicembre dalle 15,00 alle 23,00. Rispetto ad un giorno di apertura normale, in questi giorni è stata riscontrata una situazione particolarmente critica per le opere esposte; in occasione di tale incontro, infatti, sono state attivate diverse stufe elettriche per il benessere delle cinquecento persone intervenute in ogni serata e questo ha fatto registrare in poche ore un innalzamento repentino della temperatura di diversi gradi.

Confrontando quindi i dati relativi alle tre sale monitorate, si è potuto osservare che ciascuna sala presenta un comportamento termico ben preciso.

La Sala Morganti è caratterizzata da un'elevata inerzia termica deducibile dalle minori variazioni medie giornaliere e da minime e massime più contenute; ciò è spiegabile in quanto è posizionata a piano terra ed è più protetta. La Sala Grande, invece, presenta un'elevata reattività alle sollecitazioni termiche, infatti, mostra variazioni medie giornaliere ampie, fino a raggiungere i 2°C, accompagnate da valori di minime e di massime estremi. La motivazione è da ricercare nella concomitanza di diverse caratteristiche: la sala si trova al secondo piano, contiene la porta di accesso al museo e la sua struttura presenta problemi conservativi più evidenti.

La sala del Caminetto è caratterizzata da una elevata capacità di mantenere il calore accumulato; i suoi valori massimi arrivano a superare quelli della Sala Grande, mentre le variazioni medie giornaliere si collocano in una posizione intermedia tra le due. Tutto ciò è spiegabile in quanto la sala è posizionata al secondo piano e le due aperture che possiede sono correttamente gestite per cui l'ambiente è meno condizionato dai passaggi d'aria.

Direttamente correlata alla temperatura è l'umidità relativa, la quale, in un ambiente chiuso, si comporta secondo la legge di proporzionalità inversa; all'aumentare della temperatura, infatti, aumenta la quantità di vapore acqueo che l'aria può contenere e quindi la percentuale di UR diminuisce<sup>26</sup>. In generale, in tutte le sale è bene evidenziare che l'umidità relativa risulta sempre elevata con variazioni medie giornaliere che superano i valori consigliati dalla normativa (2% per dipinti su tavola e 6% per dipinti su tela).

Andando ad analizzare più in dettaglio l'andamento dell'umidità relativa

nelle sale, si sono riscontrate delle differenze.

Per quanto riguarda la Sala Grande si è osservato che è quella con le più alte variazioni medie giornaliere (da 6,6% a 9,6%), in parte correlate all'andamento della temperatura e in parte all'effetto di fattori esterni. Nel periodo autunnale-invernale inoltre, la sala presenta i valori medi più elevati (grafico 2).

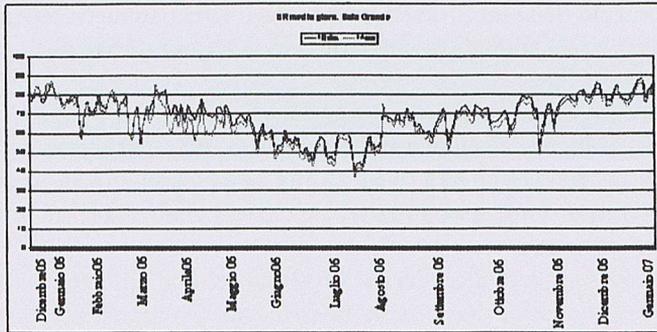


Grafico 2. Andamento dell'umidità relativa, calcolata sulla media giornaliera, rilevata nella Sala Grande, per l'intero anno, dai due sensori lì posizionati.

La Sala del Caminetto, pur mostrando valori superiori a quelli consigliati, risulta essere lievemente più mitigata della sala Grande anche se ha un comportamento molto simile.

Nella sala Morganti le variazioni giornaliere sono più contenute; questa sala infatti risulta interessata da una umidità relativa pressoché costante senza grandi variazioni e da valori minimi molto elevati, come si può osservare nel grafico 3.

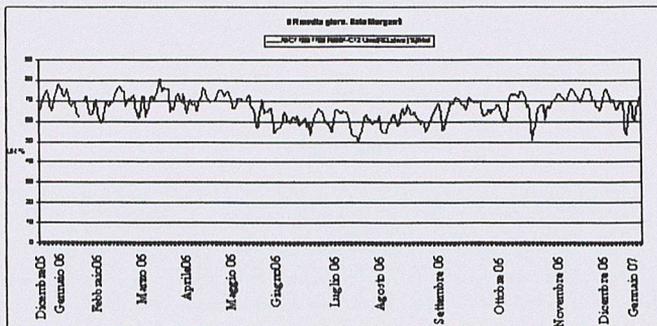


Grafico 3. Andamento dell'umidità relativa, calcolata sulla media giornaliera, all'interno della Sala Morganti per l'intero anno.

La motivazione di questo comportamento, oltre alla correlazione con la temperatura, è da ricercare nella posizione della sala, in quanto, trovandosi a piano terra è sottoposta ad una visibile risalita capillare.

Per quanto riguarda i risultati delle sonde luxmetriche, queste hanno evidenziato un illuminamento differente nella Sala del Caminetto e nella Sala Grande.

Il monitoraggio della luce, diversamente dagli altri parametri indagati, non ricopre una durata annuale in quanto le sonde sono state installate nelle due sale il 2 maggio '06.

Innanzitutto, bisogna premettere che, durante le visite del pubblico, l'illuminamento artificiale viene sempre attivato e, la concomitanza di questo con la luce solare, fa raggiungere livelli di lux massima elevati in ambedue le stanze. Soprattutto nel periodo estivo, si osserva che i valori tra le due sale sono molto differenti.

La differenza è dovuta alla diversa struttura dei due ambienti: la Sala del Caminetto è munita di due piccole finestre, sul lato mare, irradiate solo la mattina, mentre la Sala Grande possiede quattro grandi finestre per lato e quindi risulta illuminata tutta la giornata. Osservando i due grafici qui di seguito è possibile riscontrare i due differenti valori relativi all'illuminamento nelle due sale.

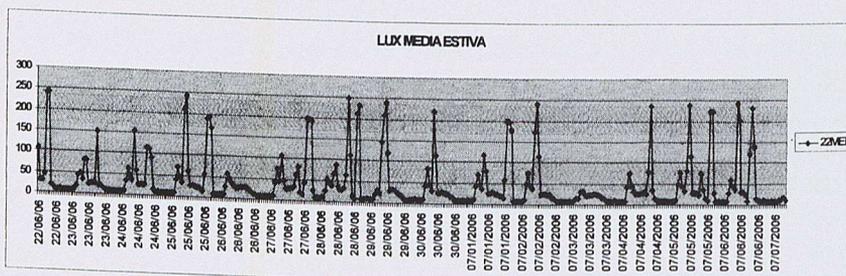


Grafico 4. Andamento dell'illuminamento nella Sala del Caminetto per un certo periodo estivo.

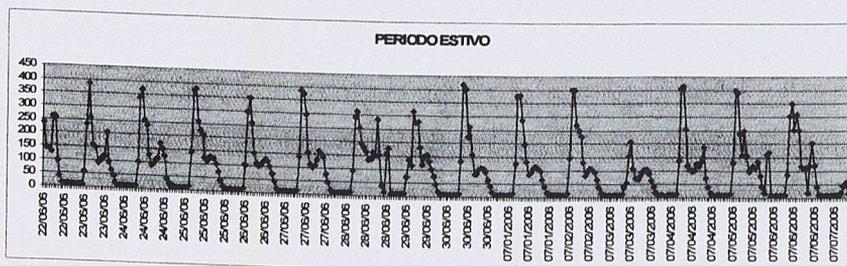


Grafico 5. Andamento dell'illuminamento nella Sala Grande per un certo periodo estivo.

In ambedue le sale, i valori di lux massimi superano quasi sempre quelli consigliati dalla normativa in relazione alla categoria di fotosensibilità a cui appartengono le opere esposte, cioè i 150 lux<sup>27</sup>.

Il periodo invernale, come si può notare nel grafico 6, presenta dei valori notevolmente minori che si aggirano attorno ai 100-150 lux.

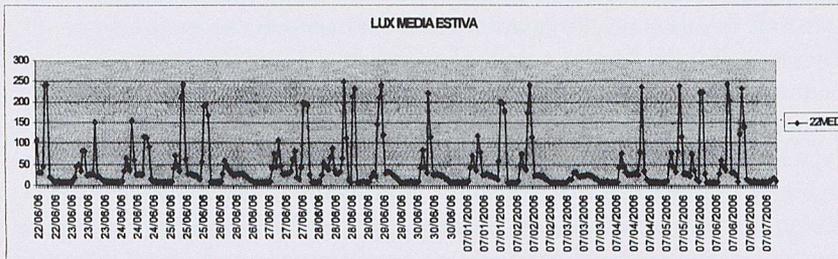


Grafico 6. Andamento dell'illuminamento per un certo periodo invernale.

Oltre alla luce naturale, che si è visto avere una grande influenza sui risultati, bisogna considerare anche quella artificiale dei faretti; questa ultima non rappresenta da sola un problema in quanto raramente supera i valori consentiti grazie alla loro corretta disposizione e ai filtri apposti.

### *Conclusioni*

Grazie al monitoraggio microclimatico annuale effettuato, si è potuto valutare il potenziale rischio a cui le opere conservate nella Pinacoteca di Fano possono essere esposte.

Con questo studio si è voluto portare un esempio di come è complesso il problema della conservazione dei beni culturali nei musei e di come sia utile lo studio dei parametri ambientali.

È risultato fondamentale, infatti, ai fini di una corretta valutazione degli ambienti che contengono le opere d'arte, lo studio microclimatico e ambientale, indispensabile per individuare le sale maggiormente esposte al rischio di degrado, e quindi le opere in esse contenute.

Il progetto triennale, già sviluppato dall'Istituto di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Urbino con il Museo Civico e Pinacoteca di Fano, prevede la sperimentazione di metodologie strumentali per il monitoraggio in modo tale da rendere più agevole il protocollo di intervento in analoghe situazioni museali.

L'obiettivo è quello di studiare i parametri microclimatici all'interno degli spazi espositivi e proporre soluzioni per il miglioramento delle condizioni di conservazione delle opere esposte.

Attraverso il monitoraggio delle sale, sono state individuate le caratteristiche più o meno idonee che ciascuna presenta. In generale il museo mostra diver-

si problemi conservativi causati principalmente dall'instabilità delle condizioni termoigrometriche. Il microclima interno risulta, infatti, notevolmente condizionato dai fattori esterni, sia dal punto di vista della temperatura che dell'umidità relativa.

I risultati di questa ricerca costituiscono la base di una politica di conservazione preventiva per assicurare alle opere d'arte un ambiente il più adatto possibile in relazione alle caratteristiche dei materiali che le costituiscono.

I responsabili del Museo e della Pinacoteca, a fronte di questa situazione, hanno attivato un protocollo d'intervento atto a sanare le problematiche di conservazione individuate. Tale protocollo deve garantire, in primo luogo, la stabilità del microclima, conformemente alle normative vigenti. Ciò dovrebbe essere realizzato mediante l'inserimento di sistemi passivi di isolamento piuttosto che attivi in quanto, questi ultimi, contemplando solitamente l'inserimento dell'impianto di riscaldamento e di deumidificatori, potrebbero causare altri problemi. Inoltre, in vista di quanto riscontrato dall'analisi dei dati raccolti, sarebbe opportuno migliorare il sistema di aperture, limitare l'ingresso della luce solare soprattutto nella Sala Grande e considerare la possibilità di migliorare l'impianto di illuminazione.

La conoscenza delle condizioni microambientali è quindi servita a sensibilizzare le autorità preposte a sviluppare una politica di manutenzione piuttosto che di restauro, in quanto, solo intervenendo direttamente sull'ambiente, è possibile risparmiare alle opere altre sollecitazioni che vanno a danneggiarle.

Inoltre, questo lavoro sperimentale ha permesso di individuare quali sono le metodologie più corrette, per ottenere dati e risultati precisi e quindi facilmente estendibili ad altre realtà museali.

<sup>1</sup> DIMOS, *Fattori di deterioramento*, parte II, modulo 1, Istituto Centrale per il Restauro, Roma, Comas Grafica s.r.l., 1979, pp 1-3.

<sup>2</sup> Si rimanda qui di seguito alla bibliografia più recente: FRANCO BATTISTELLI, DANIELE DIOTALLEVI, *Il Palazzo Malatestiano in Fano*, Urbino, Arti grafiche Editoriali S.r.l., 1982; FRANCO BATTISTELLI, *Il Palazzo Malatestiano di Fano. Museo Civico e Pinacoteca*, Fano, Amministrazione Comunale Fano, 1991; *La Pinacoteca Civica di Fano: catalogo generale*, a cura di ANNA MARIA AMBROSINI MASSARI, RODOLFO BATTISTINI, RAFFAELLA MORSELLI, Cinisello Balsamo (Mi), Amilcare Pizzi s.p.a. Arti grafiche, 1993.

<sup>3</sup> Ci si riferisce al rilevamento microclimatico iniziato il 22 dicembre 2005 nelle seguenti sale: Sala del Caminetto, Sala Grande e Sala Morganti.

<sup>4</sup> Il D.Lgs. 31 marzo 1998, n. 112, in materia di “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni e agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59”, all’art.150, Comma 6, sancisce che “Con proprio decreto il Ministero per i beni culturali e ambientali definisce i criteri tecnico-scientifici e gli standard minimi da osservare nell’esercizio delle attività trasferite, in modo da garantire un adeguato livello di fruizione collettiva dei beni, la loro sicurezza e la prevenzione dei rischi. Con apposito protocollo tra il Ministero per i beni culturali e ambientali e l’ente locale cui è trasferita la gestione possono essere individuate ulteriori attività da trasferire”. Alla definizione dei criteri tecnico-scientifici e standard museali si è proceduto innanzitutto con il D.M. 25 luglio 2000 costitutivo del Gruppo Tecnico di lavoro per l’elaborazione delle proposte atte a definire gli standard qualitativi per i Musei. Il Gruppo di lavoro ha provveduto alla redazione di tali criteri e standard, che sono stati ratificati attraverso il D.M. 10 maggio 2001 “Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei”.

<sup>5</sup> Ciascuna opera esposta, infatti, cerca di mettersi in equilibrio con l’atmosfera circostante e, ogni qualvolta si verificano variazioni ai parametri termoigrometrici, il manufatto risponde a tali variazioni modificando la sua struttura, ad es. in caso di affollamento l’opera assorbirà parte del calore e del vapore ceduto dai visitatori, restituendoli all’ambiente dopo l’uscita del pubblico.

<sup>6</sup> Ogni materiale ha il suo intervallo, più o meno largo, di tollerabilità delle escursioni termoigrometriche e addirittura anche materiali che appartengono ad uno stesso gruppo risultano essere molto diversi tra loro. Un materiale, infatti, per la sua natura intrinseca, si trasforma chimicamente e fisicamente nel corso della sua vita diventando più sensibile in funzione della sua storia e delle sue vicissitudini.

<sup>7</sup> ADRIANA BERNARDI, *Conservare opere d’arte, il microclima negli ambienti museali*, Padova, Il Prato (collana Le Pleiadi), 2003, p. 28.

<sup>8</sup> Nel DM 10/05/2001, già citato in precedenza, l’ambito III “Strutture del museo” è dedicato appunto a questo problema e si legge: “Il museo è tenuto a garantire che le sue strutture siano adeguate alle funzioni cui sono adibite, in conformità alla politica ed agli obiettivi educativi e con riferimento alle esigenze delle collezioni, del personale e del pubblico. Il museo deve rendere esplicito il quadro esigenziale cui intende riferirsi, detta-

gliando le esigenze che riguardano l'esposizione, la conservazione nel tempo, la documentazione e il restauro delle collezioni, nonché i servizi per il pubblico in termini di conoscenza, educazione, ricerca e studio e quelli per il personale impegnato nel mantenimento in esercizio delle strutture museali".

<sup>9</sup> Si deve tenere presente che anche se la radiazione che colpisce l'oggetto ha lunghezze d'onda solo nel visibile, un oggetto che riceve energia tende sempre a riscaldarsi.

<sup>10</sup> Per quanto riguarda il tipo di illuminazione non esiste una sorgente di luce che non sia dannosa per un'opera d'arte, in quanto può dipendere sia dalle componenti del suo spettro elettromagnetico, sia dall'utilizzo che se ne fa. La caratteristica principale del tipo di illuminazione più idoneo è quella di dissipare la quantità minima di energia, pur illuminando secondo le necessità, in modo da minimizzare la cessione di energia all'ambiente e quindi alle opere

<sup>11</sup> Il prefisso "micro" di tale termine indica che ci si riferisce ad una piccola locazione, come ad esempio una piccola porzione di una strada, una piazza, una stanza dove il monumento o una collezione si trovano collocati, di cui si vogliono conoscere i fattori che influenzano lo stato fisico del bene culturale e le interazioni con l'aria e con gli oggetti circostanti.

<sup>12</sup> È una grandezza fisica la cui scala di misura, comunemente usata in Europa, è quella centigrada o Celsius.

<sup>13</sup> A. BERNARDI, *Conservare*, p. 106.

<sup>14</sup> Quando la parete è più calda, si forma una corrente ascendente che la lambisce e viceversa nel caso di una più fredda. Questo discorso vale per tutti quei corpi che, rispetto all'ambiente, possiedono superfici più calde o più fredde e quindi innescano moti convettivi rispettivamente verso l'alto o verso il basso.

<sup>15</sup> Per un ulteriore approfondimento della materia, si rimanda al seguente riferimento bibliografico: PAOLO MORA, LAURA MORA, PAUL PHILIPPOT, *La conservation des peintures murales*, Bologna, 1977, trad. It. *La conservazione delle pitture murali*, Editrice Compositori, Bologna, 1999, pp. 198-206.

<sup>16</sup> Le fonti di umidità possono essere diverse:

- Umidità di infiltrazione che è in genere l'acqua piovana che proviene da lesioni o difetti nella muratura;
- Umidità di risalita capillare proveniente dal terreno sul quale poggia l'edificio;
- Umidità di condensazione.

<sup>17</sup> A. BERNARDI, *Conservare*, pp. 34-36.

<sup>18</sup> Un altro valore importante è il calcolo della quantità di radiazione ultravioletta definita, nell'UNI 10829/1999, come la misura della componente ultravioletta presente nella radiazione luminosa rapportata alla componente visibile stessa.

<sup>19</sup> Qualsiasi rete di monitoraggio deve essere realizzata in conformità alle prescrizioni

del D.M. 10/05/01 riguardanti il monitoraggio ambientale e il controllo delle condizioni degli ambienti di esposizione, conservazione, manutenzione, restauro, immagazzinamento e movimentazione delle opere d'arte, attuando le metodologie di misura indicate dalla norma UNI10829.

<sup>20</sup> La strumentazione e il sistema di trasmissione dei dati, sono stati acquistati, con un finanziamento concesso dalla Provincia di Pesaro e Urbino in base alla legge R. 75/97, dalla ditta LSI- Lastem, un'azienda italiana produttrice di strumentazione elettronica per la misura di parametri ambientali, fra cui apparecchi di misura per la verifica delle condizioni microclimatiche all'interno degli ambienti museali.

<sup>21</sup> Figura tratta dall'articolo " Monitoraggio ambientale per la conservazione di beni d'interesse storico, artistico e archeologico" di Guglielmetti, Bisegna e Zori nello "Lo stato dell'arte. Il congresso nazionale IGIIIC", p. 408. Modificata e adattata secondo la disposizione del sistema di monitoraggio del Museo di Fano.

<sup>22</sup> La rete di monitoraggio adottata alla Pinacoteca di Fano, schematizzata nella figura, è composta principalmente da:

- Quattro sensori-*cordless*, modello DME810, con banda di trasmissione di 433 MHz, cioè sensori di temperatura ed umidità e ingresso per due ulteriori sonde di temperatura e illuminamento. Due sensori-*cordless*, infatti, sono per la rilevazione combinata di temperatura e umidità con trasmissione radio del segnale (Sensore 042 e 044); gli altri due sensori hanno in più una sonda luxmetrica e una per la temperatura superficiale (Sensore 012 e 013).

- Ricevitore per segnali radio da sensori-*cordless*; ricevuti i segnali, tale strumento li trasmette, via linea seriale, al sistema di acquisizione/elaborazione, Babuc ABC al quale è connesso tramite il cavo DWA601.

- Acquisitore Babuc ABC in versione da tavolo in custodia MK4002 che consente 10 canali di ingresso via cavo e 50 ingressi via radio.

- Un Modem GSM Lastem utilizzabile solo con Babuc ABC e connesso per la trasmissione dei dati al PC. Per questi modem occorre acquistare una SIM abilitata per trasmissione/ricezione dati e programmata dal gestore (Tim, Omnitel e Wind) nel seguente modo: 9600 bps, asincrona e non trasparente.

- Un personal computer per scaricare ed elaborare i dati acquisiti.

<sup>23</sup> I sensori possono trasmettere fino a 300 m di distanza ed è possibile aumentare le distanze di comunicazione per mezzo di ripetitori interposti fra sensore e stazione ricevente. In questo caso non è stato necessario adottare ripetitori in quanto le distanze non superavano i limiti di ricezione.

<sup>24</sup> La LSI-Lastem propone diverse metodologie software ma quella adottata per questo monitoraggio si chiama Pacchetto GAP. Si tratta di un insieme di programmi su PC per la completa gestione di tutte le funzionalità degli strumenti della linea Babuc ABC. Il programma inserisce automaticamente in Excel le desiderate selezioni di dati contenuti nell'archivio, ottenendo grafici e tabelle già pronte per la stampa.

<sup>25</sup> Per ciclicità giornaliera si intende un innalzamento della temperatura durante tutto il giorno seguito da una diminuzione costante nelle ore notturne.

<sup>26</sup> Per quanto riguarda il museo è stato interessante notare che non sempre il comportamento sopra descritto rispecchia quanto rilevato nel monitoraggio. Sia nel periodo estivo che in quello invernale, infatti, si osservano andamenti in disaccordo con la legge di proporzionalità inversa, fino a riscontrare che, al diminuire della temperatura diminuisce anche l'umidità e all'aumentare della prima aumenta anche la seconda.

<sup>27</sup> Il D.M. 10 maggio 2001 " *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*" riporta in appendice una tabella relativa all'illuminamento massimo raccomandato in relazione alla categoria di fotosensibilità a cui appartengono i manufatti.

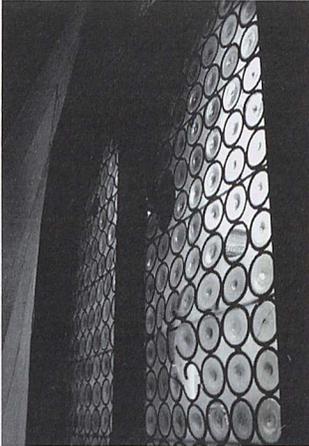


Figura 2. Finestra sul lato destro della Sala Grande.

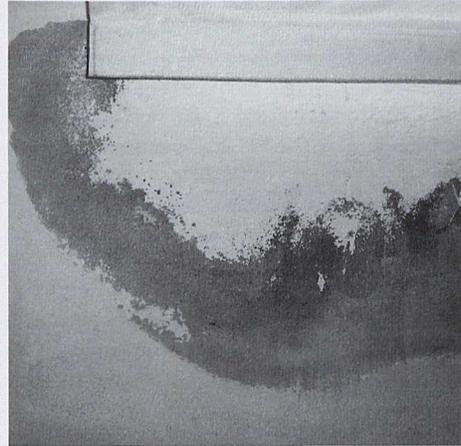


Figura 3. Alterazione dell'intonaco ed effluorescenze saline.



Figura 4. Parte alta della parete destra della Sala Grande: macchie di umidità, distacchi e cadute d'intonaco.



Figura 5. Situazione conservativa della Sala Morganti.