

LA CONOSCENZA DEL MICROCLIMA DI AMBIENTI STORICI DA RECUPERARE: IL CASO DELLA CAPPELLA DI SANTA VERDIANA NELL'OMONIMO COMPLESSO UNIVERSITARIO DI FIRENZE

Scurpi, Fabio

Università degli Studi di Firenze – Italia

1. La conservazione preventiva dei beni culturali

Per la corretta conservazione dei beni culturali presenti negli ambienti storici e nei musei è ormai noto quanto sia importante che siano tenuti sotto controllo i parametri ambientali, in modo tale che gli oggetti possano essere mantenuti entro un range di valori ottimale per evitare, o almeno ritardare, fenomeni di degrado. La prevenzione infatti è essenziale ed è la prima azione necessaria nel campo della conservazione.

Inoltre, i parametri ambientali interni non influiscono solo sulla conservazione degli oggetti esposti, ma anche sul comfort globale dei fruitori, fattore che non deve essere trascurato in un edificio storico od espositivo.

Maggiormente problematici risultano i casi in cui viene prevista la musealizzazione e quindi la fruizione del bene storico, in quanto i beni di valore storico-artistico presenti nell'edificio, che negli anni avevano raggiunto un equilibrio con il microclima interno in cui erano stati conservati fino ad allora, vengono in tal modo sottoposti a stress termici elevati per effetto della alterazione dei parametri ambientali interni dovuti alla presenza di persone, alla illuminazione ed a tutti gli altri carichi endogeni sensibili e latenti, per non parlare degli agenti inquinanti che vengono introdotti all'interno dai visitatori.

Infatti, la musealizzazione di un bene, se da un lato permette la fruizione collettiva dell'opera, dall'altro può portare a problemi seri per la conservazione del manufatto stesso, dovuti all'interazione tra il bene e l'ambiente circostante (visitatori, illuminazione, ecc.). In tali casi risulta spesso necessario attuare un compromesso tra le scelte di carattere fruizione e conservative, sulla base del rischio di degrado che si considera accettabile per i beni musealizzati.

Prima di ogni intervento di restauro volto al recupero di ambienti storici, gli ambienti di conservazione debbono essere quindi analizzati e monitorati al fine di valutare la loro idoneità alla conservazione degli oggetti in essi contenuti. In mancanza di informazioni sui parametri fisico-tecnici presenti in tali luoghi non è infatti possibile valutare l'esistenza di situazioni di rischio per la conservazione delle opere esposte, premessa indispensabile alla programmazione di eventuali interventi atti a riportare la situazione entro limiti di accettabilità.

Ogni opera d'arte ha esigenze conservative ottimali in funzione del materiale di cui è costituita, del luogo di provenienza, degli sforzi cui è soggetta, dell'iter di invecchiamento e delle condizioni ambientali cui è stata sottoposta nel tempo. I parametri ambientali che maggiormente influenzano la conservazione degli oggetti collocati all'interno di edifici storici o contenitori espositivi sono (Thomson, 1986; Stolor, 1987; Camuffo, 1998): radiazioni elettromagnetiche provenienti da sorgenti di luce naturali ed artificiali; condizioni termoisometriche sia dell'aria in prossimità dell'oggetto, che delle superfici ove sono collocate le opere, sia in termini di valore assoluto ma soprattutto di variazioni temporali nel breve periodo; qualità dell'aria interna (polveri e gas inquinanti presenti nell'aria).

Per ridurre i potenziali effetti di degrado del bene, diventa quindi particolarmente importante la conservazione preventiva dello stesso, indicando con tale termine tutte quelle azioni che hanno lo scopo di ridurre il rischio di degrado cui l'oggetto da esporre sarebbe sottoposto e di individuare sistemi alternativi per mostrare l'opera nel miglior modo possibile, agendo non direttamente sulla stessa bensì sull'ambiente e sulle condizioni di esposizione, creando un ambiente di conservazione ideale attraverso il monitoraggio e controllo ambientale indoor, la corretta gestione dell'ambiente museale, ecc.

Per la definizione dei valori idonei alla conservazione si dovrebbe fare riferimento alla storia ambientale dell'oggetto stesso e quindi ai valori (clima storico) con i quali l'oggetto nel tempo si è messo in equilibrio (UNI EN 15757, 2010); in mancanza di tali informazioni o di specifiche prescrizioni o indicazioni dei conservatori del bene, si può fare riferimento alle indicazioni riportate su due documenti basilari in tema di controllo microclimatico: il Decreto Ministeriale del 10 Maggio 2001 e la norma UNI 10829 del 1999; quest'ultima fornisce anche una metodologia per la misura in campo delle grandezze ambientali termoigrometriche e di illuminazione ai fini della conservazione di beni di interesse storico e artistico e fornisce indicazioni relative alle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati per una loro valutazione finalizzata al contenimento dei processi di degrado.

Sulla base di queste premesse, è stata condotta un'indagine sul microclima interno di un ambiente del complesso di Santa Verdiana a Firenze volta ad evidenziarne il comportamento termoigrometrico. Nei paragrafi che seguono sono riportati una breve descrizione dell'edificio oggetto dell'indagine, la metodologia adottata e la strumentazione utilizzata, i principali risultati del monitoraggio ambientale effettuato ed alcune considerazioni inerenti l'idoneità delle condizioni di conservazione, essenziali per la definizione di eventuali interventi di restauro volti a migliorare la qualità dell'ambiente.

2. Campagna di monitoraggio del microclima nella Cappella di Santa Verdiana: metodologia di misura e strumentazione utilizzata

L'ambiente oggetto del monitoraggio, la Cappella di Santa Verdiana, si trova nella parte storica dell'omonimo complesso destinato a sede della Scuola di Architettura di Firenze; attualmente la Cappella, in cui sono presenti pregevoli pitture murali del XV secolo con scene che ritraggono la vita della Santa, alcune delle quali recentemente restaurate, non è aperta al pubblico.

La Cappella di Santa Verdiana si trova al piano terra della parte antica dell'ex-convento e non presenta parti direttamente a contatto con l'esterno, trovandosi completamente racchiusa da altri ambienti interni; non sono quindi presenti finestre o porte finestre verso l'esterno. Ha una superficie netta di circa 30m² ed un volume netto di circa 150m³. L'involucro termico, caratterizzato da componenti edilizi molto pesanti e con grossi spessori, si distingue per le ottime capacità inerziali, presentando una trasmittanza termica periodica molto bassa ($Y_{IE}=0.067 \text{ W/m}^2\text{K}$) ed uno sfasamento molto elevato (maggiore di 16 ore), a fronte di valori di isolamento termico molto scarsi ($U=1,150 \text{ W/m}^2\text{K}$). L'ambiente non è illuminato naturalmente e le uniche lampade presenti sono quelle utilizzate dai conservatori per le operazioni di restauro delle superfici pittoriche interne, che sono state quindi accese solo negli orari di lavoro. Non è presente nessun impianto volto al controllo climatico dell'ambiente interno, eccezion fatta per le stufette utilizzate dai restauratori ed accese anch'esse esclusivamente negli orari di lavoro.

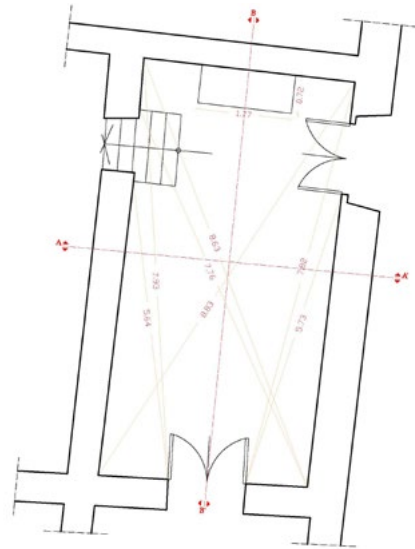
La campagna di monitoraggio sperimentale dei parametri termoigrometrici è iniziata nell'aprile 2012 e si è conclusa nel maggio 2014, con alcune interruzioni dovute a questioni tecniche. Durante il periodo di monitoraggio nella Cappella si sono svolte le operazioni di restauro degli affreschi.

Per tali misure sono stati usati datalogger (di proprietà del Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia dell'Università di Firenze) modello TGU 4500 Tinytag Ultra 2 (dimensioni 72 x 60 x 33 mm; accuratezza 0,3°C per la temperatura e 3% per l'umidità relativa) della ditta Gemini Data Loggers (<http://>

www.gemindataloggers.com), che sono stati programmati per registrare i valori di temperatura di bulbo secco ed umidità relativa dell'aria ogni 15 minuti. È stato anche utilizzato un datalogger, dello stesso modello, per la misura della temperatura superficiale delle pareti affrescate, programmato con lo stesso range di campionamento.

Le postazioni di misura interne sono state scelte tenendo conto delle esigenze funzionali e di fruizione dell'ambiente, delle esigenze di funzionamento degli strumenti (evitando postazioni prossime a fonti di alterazione localizzate), nonché delle caratteristiche geometriche degli ambienti.

Nell'ambiente di monitoraggio sono stati posizionati quattro datalogger, in punti di misura differenziati e studiati per caratterizzare nel miglior modo possibile il bene: SV_1, SV_2 e SV_4 sono stati posizionati in prossimità della parete affrescata dell'altare, a due differenti altezze (il primo a 2,50m e gli altri due a 1,50m da terra); SV_3 è stato posizionato al centro dell'ambiente ad una altezza di 1,50m da terra. I punti di misura denominati SV_1, SV_2 e SV_3 hanno monitorato i valori di temperatura a bulbo secco dell'aria ambiente (t espressa in $^{\circ}\text{C}$) e quelli di umidità relativa (u espressa in %), mentre quello denominato SV_4 ha monitorato i valori della temperatura superficiale (t_s espressa in $^{\circ}\text{C}$)



Pianta della Cappella di Santa Verdiana

della parete di fondo con l'altare e gli affreschi di maggiore interesse, al fine di evidenziare eventuali fenomeni di condensazione superficiale. Contemporaneamente un analogo sensore per la misura di temperatura a bulbo secco ed umidità relativa dell'aria esterna è stato posizionato all'esterno (EXT).

I valori di riferimento consigliati dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali italiano (MiBAC) per i parametri ambientali relativi alla conservazione della categoria di beni presenti nella Cappella (Pittura murale, Affreschi) sono: da 6°C a 25°C per la temperatura e da 45% a 60% per l'umidità relativa (D.M. 10.5.2001). I valori forniti devono essere intesi come 'valori consigliati' da adottare in mancanza di specifiche prescrizioni (per esempio da parte dei responsabili della conservazione del bene storico) o norme specifiche sull'argomento.

3. Analisi dei dati rilevati e considerazioni conclusive

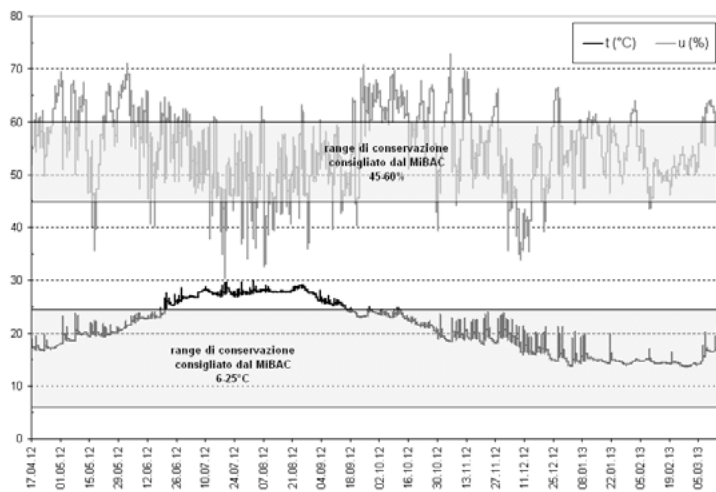
I dati termoigrometrici rilevati con i datalogger sono stati trasferiti su PC e poi elaborati tramite fogli di lavoro excel con la realizzazione di grafici dove è riportato l'andamento dei parametri misurati nel tempo. I dati rilevati sono stati inoltre elaborati determinando i valori massimi, minimi e medi giornalieri, mensili, stagionali ed annuali, mettendo inoltre in relazione i valori interni con quelli corrispondenti esterni, ed infine realizzando diagrammi di frequenza cumulata e relativa, al fine di individuare il Performance Index (PI) quale indicatore della qualità conservativa dell'ambiente in relazione alla tipologia di beni conservati, secondo quanto stabilito dalla Norma UNI 10829 e dalla bibliografia scientifica (Sciurpi, Carletti, Cellai, & Pierangioli, 2015; Del Curto, 2010; Pavlogeorgatos, 2003). Questo indicatore rappresenta la percentuale di tempo durante la quale il parametro misurato ricade entro il range di valori ritenuto accettabile per la conservazione del bene presente nell'ambiente e quindi può essere usato per valutare l'idoneità di un ambiente alla conservazione del bene presente.

Dall'analisi dei dati monitorati si rileva come l'involucro edilizio sia in grado di smorzare e sfasare nel tempo l'influenza dovuta al clima esterno; infatti l'ampiezza delle variazioni giornaliere, mensili e stagionali delle

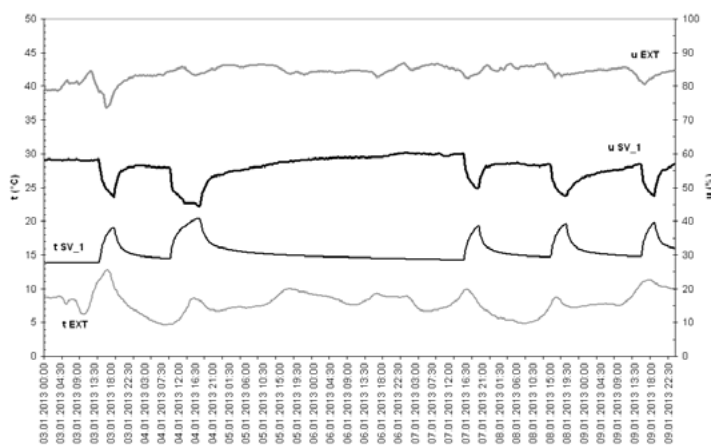
temperature interne è molto minore della corrispondente esterna, e ciò grazie sia alla posizione relativamente interna della Cappella rispetto al complesso edilizio, sia alle ottime capacità inerziali dei componenti di involucro opaco. Risulta comunque evidente come, per il tipo di beni presenti, il problema maggiore si manifesta nei periodi estivi quando le temperature interne, anche in assenza di carichi termici endogeni, tendono ad aumentare equilibrando in valore assoluto, anche se con un certo ritardo di tempo, quelle esterne; tale tendenza viene accelerata ed amplificata dall'assenza di ricambi d'aria controllati, portando i valori interni a raggiungere picchi anche di 32°C. Anche per quanto riguarda l'umidità relativa, sono evidenti gli effetti positivi dell'involucro sulla riduzione delle ampiezze delle variazioni temporali di tale parametro all'interno dell'ambiente; nonostante ciò, in termini di valore assoluto, i valori monitorati vanno al di fuori di quelli consigliati dal MiBAC per periodi temporali maggiori e distribuiti su tutto l'anno, con una preponderanza nelle stagioni intermedie (primavera e autunno).

I datalogger posizionati a diverse altezze nell'ambiente monitorato hanno evidenziato la presenza di una seppur minima stratificazione dell'aria, soprattutto nella stagione estiva, dove la variazione massima supera 1°C, che nel periodo invernale si riduce a meno di 0.5°C (quindi nel range di errore dello strumento).

Ben evidenti sono invece gli effetti di alterazione della temperatura interna, che si ripercuotono ovviamente su quelli di umidità relativa, dovuti alla presenza dei restauratori (in genere una o al massimo due persone) durante le fasi di restauro degli affreschi. Nella stagione invernale tali effetti sulle variazioni orarie e giornaliere dei parametri ambientali interni risultano molto più visibili; in presenza dei restauratori, infatti, per effetto dell'accensione delle lampade e delle stufe per il riscaldamento, le temperature interne aumentano con escursioni massime nel breve periodo anche di 6°C con conseguenti effetti sulla stratificazione dell'aria. Anche l'umidità relativa interna risente indirettamente di tali effetti; infatti, in assenza di fonti di produzione di vapore interne, ad un aumento della temperatura corrisponde una diminuzione dell'umidità relativa, con potenziali effetti negativi sui beni presenti.



Andamento della temperatura e dell'umidità relativa nel punto di misura SV_1 in un anno di monitoraggio, messi a confronto con quelli consigliati dal MiBAC



Andamento della temperatura e dell'umidità relativa nel punto di misura SV_1 in relazione a quello dell'esterno in una settimana tipo invernale

I valori di temperatura superficiale della parete affrescata dietro l'altare, rilevati dal sensore SV_4, sono risultati inferiori a quelli della temperatura dell'aria interna (sensore SV_1) di circa 1°C durante i mesi estivi e di circa 0.5°C negli altri mesi dell'anno, anche in corrispondenza di umidità relative massime del 70%; dal diagramma psicrometrico, risultando la temperatura superficiale sempre superiore alla corrispondente temperatura di rugiada, viene confermata l'assenza di rischio di condensazioni superficiali sulla parete in analisi.

L'analisi dei valori assoluti di temperatura ed umidità relativa rilevati all'interno dell'ambiente secondo quanto stabilito dalla Norma UNI 10829 e dalla bibliografia scientifica ha permesso di individuare il Performance Index (PI) dell'ambiente di conservazione studiato in relazione alla tipologia di beni conservati. Nel periodo di monitoraggio il valore è risultato pari a circa 46%, ciò significa che per il 46% del tempo i valori di temperatura ed umidità relativa contemporaneamente ricadono entro il range di valori ritenuto accettabile per la conservazione del bene presente nell'ambiente, con conseguenti potenziali problemi di degrado.

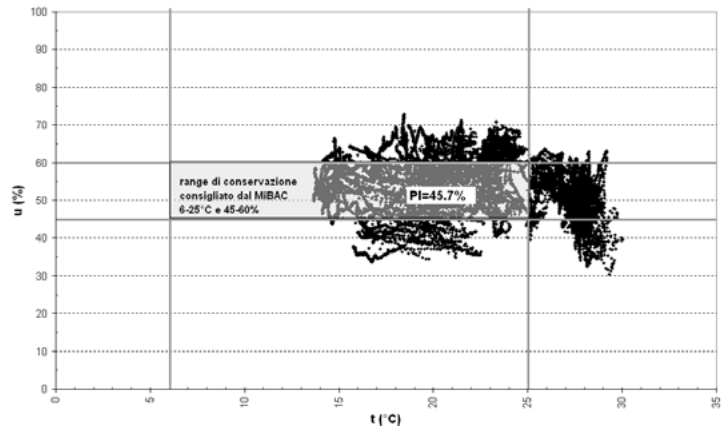


Diagramma combinato dei parametri di temperatura ed umidità relativa confrontati con quelli consigliati dal MiBAC per il punto SV_1

L'analisi nel suo complesso ha quindi messo in evidenza come, allo stato attuale, in assenza di un sistema attivo di controllo del microclima indoor, l'ambiente riesca a mantenere i parametri microclimatici entro i range ottimali per la conservazione degli affreschi per un periodo inferiore al 50%, determinandone la scarsa idoneità conservativa. Maggiormente preoccupanti risultano però gli effetti che una fruizione del bene incontrollata potrebbero determinare, in quanto essendo l'ambiente molto piccolo e con pochi ricambi d'aria, la presenza di visitatori potrebbe comportare variazioni elevate dei parametri ambientali nel breve periodo con conseguenti potenziali problemi di stress termoigrometrico per il bene conservato. Nell'ottica quindi di una futura musealizzazione del bene, risulterà necessario intraprendere tutte le azioni necessarie al corretto controllo dei parametri ambientali indoor per ricondurli nei range ottimali per la conservazione del bene, non solo riducendo le seppur già limitate influenze del clima esterno, ma soprattutto controllando e compensando le alterazioni interne dovute alla presenza di persone e fruitori, grazie all'inserimento di idonei sistemi di climatizzazione e ricambi d'aria. A tal fine, gli sviluppi futuri del lavoro di ricerca prevedono la valutazione di differenti strategie di controllo del microclima interno (agendo sia sull'involucro, sia sull'impianto HVAC, sia sulle modalità di gestione del bene) attraverso la modellazione dell'ambiente di studio e la successiva simulazione termica dinamica dello stesso con codici di calcolo in regime dinamico (Energy Plus).

BIBLIOGRAFIA

Boddi, R., Cassi, S., Sciarpi, F. (2010). Monitoraggio termoigrometrico della cappella laterale della chiesa di Ognissanti e progetto per la verifica del microclima dopo la ricollocazione del Crocifisso di Giotto. In M. Ciatti (Ed.), *L'officina di Giotto. Il restauro della Croce di Ognissanti* (pp.247-252). Firenze, Italia: Edifir.

Camuffo, D. (1998). *Microclimate for Cultural Heritage*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Carletti, C., Raffellini, G., Sciarpi, F. (2001). Indoor air quality in museums. Monitoring and assessing of indoor pollution: a case study. In *Clima 2000, 7th REVHA World Congress*. Napoli, Italia.

Carletti, C., Raffellini, G., Sciarpi, F. (2005). Ambienti museali ipogei: problematiche conservative e monitoraggi ambientali. In *Tecnologie impiantistiche per i musei, Convegno Nazionale AICARR*. Roma, Italia.

D.M. 10.5.2001. Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei. MiBAC, G.U. 19/19/2001, n244, suppl ord. Serie Generale.

Del Curto, D. (Ed.). (2010). *Indoor Environment and Preservation. Climate control in museums and historic buildings*. Firenze, Italia: Nardini Editore.

Pavlogeorgatos, G. (2003). Environmental parameters in museums. *Building and environment*, 38, pp. 1457-1462.

Pitzurra, L., Bellezza, T., Miliani, C., Nocentini, A., Sbaraglia, G., Sciarpi, F., Selvaggi, R., & Bistoni, F. (2001). Monitoraggio ambientale del microclima, degli inquinanti gassosi e della contaminazione microbica nella Galleria Nazionale dell'Umbria. In *Ecosistemi Urbani. Convegno Nazionale dei Lincei*. Roma, Italia.

Sciarpi, F., Carletti, C., Cellai, G., Pierangioli, L. (2015). Environmental monitoring and microclimatic control strategies in 'La Specola' museum of Florence. *Energy and buildings*, 95, pp.190-201.

Stolow, N. (1987). *Conservation and Exhibitions*. London, England: Butterworths.

Thomson, G. (1986). *The Museum Environment*. London, England: Butterworths.

UNI 10829 (1999). Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi. Milano, Italia: UNI.

UNI EN 15757 (2010). Conservazione dei Beni Culturali. Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici. Milano, Italia: UNI.