Regione Toscana

Diritti Valori Innovazione Sostenibilità

Conservazione preventiva e controllo microclimatico nel contesto degli standard museali

sms santa maria della scala

Saper Fare
nei Musei

6
Conservazione preventiva e controllo microclimatico nel contesto degli standard museali

A cura di
Complesso Museale
Santa Maria della Scala - Siena

Regione Toscana - Giunta Regionale
Direzione generale delle Politiche formative,
beni e attività culturali
Settore Musei, aree archeologiche, valorizzazione
dei beni culturali e cultura della memoria

Il presente volume raccoglie i testi degli interventi
del Workshop "Controllo microclimatico in ambienti museali"
tenutosi a Siena nel febbraio e marzo 2009 presso il
Complesso Museale di Santa Maria della Scala.

Coordinamento comunicazione ed eventi
Direzione Generale della Presidenza
Settore Comunicazione istituzionale e pubblicitaria

Realizzazione grafica
Ufficio Comunicazione visiva Comune di Siena

Stampa Vanzi Industrie Grafiche

Catalogazione nella pubblicazione (CIP) a cura
della Biblioteca della Giunta regionale toscana:
Conservazione preventiva e controllo microclimatico nel contesto degli standard museali: Complesso museale di Santa Maria della Scala. - (Saper fare nei musei)

I. Complesso museale Santa Maria della Scala, Siena
II. Toscana. Direzione generale politiche formative, beni e attività culturali. Settore musei, aree archeologiche, valorizzazione dei beni culturali e cultura della memoria III. Workshop Controllo microclimatico in ambienti museali
1. Musei – Microclima – Controllo – Applicazione di standard – Atti di congressi
697.9315

Tiratura copie 600
Giugno 2010

Indice

Presentazione 5
Cristina Scaletti
Assessore alla Cultura, Turismo e Commercio della Regione Toscana

Presentazione 7
Tatiana Campioni
Direttore Complesso Museale Santa Maria della Scala

Introduzione 9
Marco Filippi

L'applicazione del D.M. 10 maggio 2001 sugli standard museali in Italia 13
Michela Rota

La conservazione preventiva nel contesto degli standard museali italiani 19
Chiara Bonvicini

Strumenti di indagine della qualità delle strutture museali 29
Marco Filippi, Michela Rota

Monitoraggio e indagine microclimatica in ambienti museali 43
Stefano Paolo Corgnati, Daniela Raimondo

Il controllo del microclima nelle vetrine museali 59
Chiara Bonvicini, Marco Perino

Livello di qualità microclimatica, consumi energetici e impatti ambientali in ambienti museali 75
Stefano Paolo Corgnati, Valentina Fabi, Daniela Raimondo

Presentazione

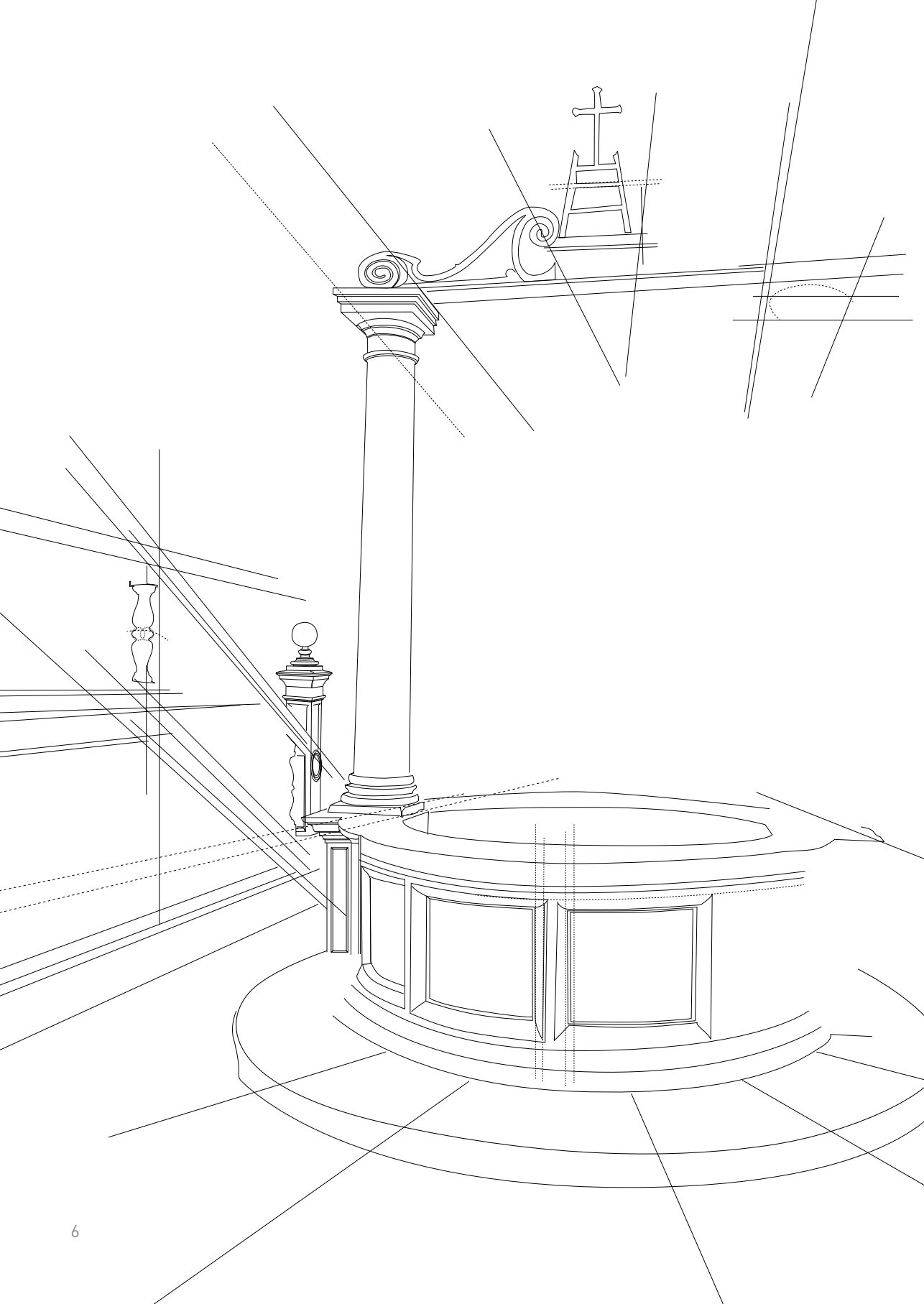
Cristina Scaletti
Assessore alla Cultura, Turismo e Commercio della Regione Toscana

Duecentottantasette Comuni e più di cinquecento musei. Si può riassumere così il quadro toscano, anche se la cifra di per sé non dà certo conto del legame straordinario che i musei hanno con il territorio e con la storia più ampia delle comunità locali. Una caratteristica tutta italiana, si è detto, ma che in Toscana ha sicuramente un'accentuazione particolare. Il museo spesso è là dove non sono la farmacia o la scuola. Perché un patrimonio così esteso possa essere conservato e fruito nel modo migliore c'è bisogno di un impegno straordinario. Occorre anche che si faccia rete, che si sviluppino progetti culturali a livello di sistemi museali, per far emergere l'unitarietà del bene culturale e mettere in evidenza come il territorio, a sua volta, sia una continuazione del museo.

La Regione Toscana sostiene da anni con i propri progetti l'adeguamento dei musei all'Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionameno e sviluppo dei musei. Il programma pluriennale degli interventi strategici nel settore dei beni culturali, nato come progetto "Toscana Museo diffuso", contribuisce alla conservazione, al recupero ed alla valorizzazione di un patrimonio che continua ad emergere in tutto il territorio regionale.

La collana *Saper fare nei musei* integra questi piani d'intervento con manuali pratici che nascono dalla realtà toscana, per sostenere il lavoro quotidiano di chi opera nel museo. Ogni titolo risponde, infatti, a esigenze che si sono manifestate nel vivo dei musei e valorizza risorse professionali ed esperienze maturate sul campo in uno scambio di informazioni e acquisizioni che arricchisce tutti.

La sfida della qualità riguarda tutti i campi, ma la cultura della qualità, alla quale *Saper fare nei musei* praticamente allude, è sicuramente un elemento costitutivo del museo.



Presentazione

Tatiana Campioni
Direttore Complesso Museale Santa Maria della Scala

Grazie al contributo della Regione Toscana, anche nel 2009, si sono tenuti a Siena, nel Complesso Museale di Santa Maria della Scala, gli incontri, con gli operatori museali, dedicati al tema della gestione della sicurezza, sia dei visitatori che delle opere d'arte esposte nelle strutture museali.

La scelta del Santa Maria della Scala come luogo dove incontrarsi per parlare di sicurezza ci inorgoglisce e sottolinea la difficoltà di affrontare questi temi in ambienti di grande valore storico-artistico, come sono normalmente quelli che ospitano i musei.

Il Santa Maria della Scala, con la sua straordinaria complessità architettonica e con la presenza al suo interno di numerosissime attività a sostegno della preminente, ma non esclusiva attività museale: laboratori, mostre temporanee, convegni, spettacoli di vario genere, biblioteche, fototeche, con la coesistenza di queste attività con uno dei cantieri più grandi d'Europa, rappresenta indubbiamente un caso di studio unico quando si affrontano i vari aspetti della sicurezza nei contesti museali. Da anni stiamo lavorando, attraverso studi e ricerche di vario genere, alla possibilità di rendere sicuro il Santa Maria della Scala, senza snaturarne le sue eccezionali caratteristiche architettoniche e funzionali.

In questo volume che presentiamo e che va ad integrare la collana "Saper fare nei musei", sono raccolti i testi degli interventi dei relatori del Workshop dal titolo "Controllo microclimtico in ambienti museali", organizzato qui al Santa Maria della Scala nei mesi di febbraio e marzo 2009. Agli incontri, tenuti da docenti del Poltecnico di Torino e da specialisti della Società di ricerca e consulenza ONLECO S.r.l. di Torino, hanno partecipato gli operatori delle istituzioni museali toscane. Le giornate di lavoro hanno trattato gli aspetti legati alla tutela degli oggetti esposti ed in particolare l'analisi microclimatica, sia dei macro ambienti (sistema edificio/impianti), che dei micro ambienti (vetrine espositive), con l'obiettivo di consentire ai partecipanti di acquisire confidenza con le tecniche di controllo e monitoraggio ambientale, di analisi delle strutture e di verifica delle prestazioni del sistema edificio/impianto approfondendone strumenti e metodologie.

Introduzione

Marco Filippi

Il controllo microclimatico degli ambienti destinati all'esposizione e alla conservazione delle opere, inteso come controllo dei parametri di temperatura, umidità relativa, radiazioni elettromagnetiche e qualità dell'aria all'interno sia dei macro-ambienti (sale espositive, depositi, ecc…) che dei micro-ambienti (contenitori museali: vetrine, contenitori per il deposito e per il trasporto), è stato il tema centrale affrontato nelle prime tre giornate di Workshop.
Il tema del controllo microclimatico è da tempo di particolare interesse per i conservatori dei musei. È noto infatti come i parametri ambientali, citati in precedenza, possano innescare o aggravare processi di degrado attraverso meccanismi di tipo chimico, fisico o biologico e come contribuiscano ad aumentare o ridurre le "aspettative di vita" di un bene culturale.
Risulta quindi evidente come il controllo dei parametri ambientali, inteso come controllo dei valori medi e dei gradienti temporali, risulti fondamentale per l'ottimale conservazione delle collezioni.
In Italia, il D.M. 10/05/2001 "Atto d'indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" e la norma UNI 10829 "Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi." Offrono indicazioni sui valori di riferimento raccomandati dei parametri ambientali da mantenere per la conservazione delle opere d'arte. Mentre l'Hndbook "HVAC Applications" dell'ASHRAE definisce le classi di controllo termoigrometrico degli ambienti in cui esse sono conservate, fornendo indicazioni sulle fluttuazioni permesse sul breve e sul lungo periodo.
L'obiettivo dell'analisi microclimatica di un edificio museale è la conoscenza approfondita del sistema edificio - impianto e delle sue potenzialità di controllo microclimatico che, come illustrato nel corso del workshop, dipende da numerosi fattori quali ad esempio la tipologia di involucro dell'edificio (leggero, medio o pesante, isolato, non isolato…), la sua permeabilità all'aria e la tipologia di impianto presente (senza impianto,

impianto ad acqua, impianto a tutt'aria o misto aria-acqua).
L'analisi microclimatica approfondita può inoltre permettere la certificazione ambientale dell'area esaminata. La verifica del livello di qualità microclimatica degli ambienti espositivi deve essere valutata attraverso monitoraggi in continuo delle condizioni microclimatiche su base annuale così da coprire le varie stagioni ed i diversi assetti impiantistici. Come suggerito dalla norma UNI 10829, si affronta l'analisi delle grandezze fisiche monitorate attraverso "la misurazione su base oraria per un periodo che consenta di raggiungere una conoscenza sufficientemente approfondita dell'andamento temporale dei valori delle grandezze stesse". In merito a tali analisi, nel corso del workshop, è stata illustrata l'elaborazione di base dei dati di monitoraggio, che consiste essenzialmente nell'analisi statistica dei valori medi orari e dei gradienti orari e giornalieri dei parametri presi in considerazione, l'elaborazione in termini di profili temporali, la distribuzione in frequenza e frequenza cumulata dei valori medi orari. È importante sottolineare che la qualità microclimatica dell'ambiente interno può essere espressa attraverso specifici indici: l'Indice di Performance (IP) oppure l'Indice di Scostamento (IS). Il primo, riferito ad una specifica grandezza microclimatica, esprime "la percentuale di tempo in cui la grandezza in esame si mantiene all'interno del campo prescelto ritenuto accettabile". Il secondo invece, è relativo alle condizioni di conservazione ed è valutato come la percentuale di tempo, ovvero di punti misurati, per la quale i parametri ambientali rilevati cadono all'esterno della fascia di valori ritenuta accettabile.

Il controllo completo dei valori di temperatura ed umidità relativa dell'aria indoor è possibile mediante l'impiego di impianti di climatizzazione a tutt'aria o misti aria/acqua, che rappresentano inoltre l'unico provvedimento efficace per il controllo degli inquinanti negli ambienti museali (rimozione e diluizione delle sostanze nocive). Aspetto negativo di tali sistemi è però il costo elevato sia di installazione che di gestione.
Un'alternativa al controllo dell'ambiente a livello delle sale espositive e dell'ambiente museale nel suo insieme è rappresentato dall'adozione di vetrine all'interno delle quali collocare le opere. In tal caso il controllo del microclima sarà effettuato solo localmente dentro il contenitore museale. L'impiego di vetrine museali permette di rispondere alle esigenze di sicurezza (intesa come protezione delle opere conservate da azioni intenzionali o non intenzionali), di controllo del microclima (temperatura dell'aria interna, umidità relativa, concentrazione di inquinanti gassosi e aereosospesi, livelli di esposizione a radiazioni elettromagnetiche)

e di fruizione da parte del pubblico (ottimizzazione dell'esposizione delle opere e loro valorizzazione).
Durante lo svolgimento del workshop l'attenzione è stata focalizzata soprattutto sui sistemi di controllo passivi dell'umidità relativa mediante l'impiego di materiali igroscopici e al loro corretto dimensionamento in funzione delle caratteristiche del contenitore stesso (volumetria, tenuta all'aria…) e delle prestazioni richieste.

È stato inoltre affrontato il tema delle procedure come strumenti fondamentali per la gestione ordinaria nel complesso contesto delle istituzioni museali.
Inizialmente è stato trattato il tema degli standard museali a partire dal già citato Atto di Indirizzo, evidenziando le principali differenze di approccio nelle Regioni italiane e per ognuna le fasi del processo e i benefici attesi.
L'attenzione è stata posta sugli ambiti riguardanti le strutture, la sicurezza e la gestione e cura delle collezioni al fine di contestualizzare a livello normativo i temi oggetto del workshop senese.
Nelle diverse Regioni, dove in molti casi è in corso un'elaborazione delle procedure di accreditamento, per il raggiungimento dello standard di qualità, si prevede talvolta la rispondenza a requisiti minimi obbligatori tal'altra a obiettivi di qualità perseguiti attraverso un percorso di crescita e di miglioramento. In particolare si riporta l'esperienza della Regione Piemonte, la quale adotta la seconda opzione. A partire dal 2005 sono infatti state elaborate, per tutti gli ambiti, delle schede in cui sono presenti 5 livelli (lo standard minimo è previsto per il livello 2) e il museo si colloca in uno di essi a seconda delle proprie prestazioni, indipendentemente da dimensioni, importanza, grandezza delle collezioni. La validità di tale metodo, ispirato al sistema inglese basato sui Range Statements, consiste nella creazione di un sistema dotato di una sua plasticità e capacità di conformarsi efficacemente al caso singolo e soprattutto nella possibilità di programmare gli obiettivi successivi da raggiungere per eventuali miglioramenti.

Sono stati evidenziati anche altri aspetti connessi alla conservazione delle opere d'arte come l'adozione di misure che rendano effettiva la prevenzione del degrado e la formalizzazione delle procedure adottate.
E' stato proposto a tal proposito lo studio effettuato sui Facility Reports classici, oggi utilizzati per i prestiti di opere d'arte.
I Facility Report sono una procedura scritta che specifica gli aspetti tesi alla salvaguardia e alla protezione delle collezioni per mezzo dell'acquisizione di informazioni, organicamente classificate, che permettono di

valutare i rischi possibili causati dalla movimentazione delle raccolte e dalla relativa esposizione. Rappresentano una sorta di "check list" della sicurezza ambientale dell'oggetto e del luogo in cui esso verrà esposto e protetto, una sorta di garanzia che l'ente prestatore richiede affinché lo spostamento temporaneo avvenga nelle condizioni più sicure possibili, da un punto di vista ambientale e di protezione anticrimine.
Tuttavia, vista l'importanza di strumenti e metodologie di indagine dello stato di fatto e delle criticità che siano trasversali a più argomenti e utilizzabili anche nell'ordinaria gestione di un museo e bene culturale, si ritiene il *Facility Report* non sufficiente.
Le istituzioni museali presentano spesso delle carenze in alcuni ambiti e un'indagine più dettagliata consentirebbe di raccogliere informazioni che possono costituire il punto di partenza e di supporto per processi decisionali volti a migliorare il "sistema qualità" proprio dell'istituzione museale, cioè le strutture organizzative, le procedure e le risorse specifiche per il mantenimento della qualità.
Di qui la necessità di mettere a punto un "nuovo" Facility Report, denominato *Confidential Facility Report* valido sia per l'analisi critica che per l'accreditamento delle istituzioni museali, e i prestiti di opere d'arte. Il *Confidential Facility Report* è suddiviso in sezioni che indagano diversi aspetti della realtà museale tramite elaborati grafici con legende parlanti tabelle riassuntive, piante, fotografie e commenti (esiti di interviste agli operatori). In una prima parte sono analizzate le strutture, gli spazi e i caratteri distributivi, la sicurezza, le dotazioni impiantistiche, gli allestimenti, la conservazione delle opere d'arte. In una seconda parte si focalizza l'attenzione sugli aspetti più prettamente gestionali legati alle figure professionali, le collezioni, la sicurezza e la manutenzione.
Per ogni sezione si evidenzia lo stato di fatto e successivamente la funzionalità delle dotazioni presenti e gli strumenti per eventuali miglioramenti dell'istituzione attraverso sia una gestione programmata che tramite attività sperimentali.

L'applicazione del D.M. 10 maggio 2001 sugli standard museali in Italia

Michela Rota

In Italia dal 2001, anno di emanazione del noto Atto d'Indirizzo (D.M 10/05/2001), è iniziato un attivo dibattito sugli strumenti e le tecniche di rilevamento della qualità, in termini sia di azioni intraprese dalle singole istituzioni museali, che di corsi di formazione, convegni e pubblicazioni, da parte di sedi istituzionali, accademiche e professionali.
Attività, prassi e procedure, ormai diffuse nel mondo anglosassone si stanno diffondendo, seppur con differenti velocità nel contesto regionale italiano e termini che in precedenza erano tipici del mondo aziendale sono ora utilizzati nell'ordinaria gestione con l'obiettivo di migliorare le attività di tutela, valorizzazione e qualità offerta nel settore dei Beni Culturali.
"Si effettuano ricerche sugli indicatori più idonei e si diffondono, sia pure con cautela, applicazioni e metodologie volte al controllo dei processi di attività tipici di ciascuna struttura, al monitoraggio dei livelli di performance, alla valutazione dei risultati ottenuti sulla base di elementi verificabili in termini oggettivi e soggettivi da utenti e osservatori esterni, oltre che da operatori interni." [1]

L'atto d'indirizzo

Il tema delle procedure, ed in particolare di quelle di accreditamento, è sentito da chi opera nel settore come fondamentale per la gestione ordinaria nel complesso contesto delle istituzioni museali, sebbene in alcuni casi siano ancora poco sviluppate e metabolizzate per essere di reale supporto ai processi decisionali e di concertazione. I contenuti dell'Atto d'Indirizzo, sono ormai noti, non si intende pertanto in questa sede riproporli, ma semmai mettere in evidenza gli aspetti che ne stanno alla base e che sono stati recepiti da alcune Regioni per l'avvio dei processi di accreditamento sulla base di criteri tecnico scientifici e standard di funzionamento.
Gli aspetti elencati di seguito, ricordati spesso da Cristina Acidini sia nell'introduzione al Decreto che nelle numerose e autorevoli pubblicazioni sull'argomento, sottolineano:

- "la decisione di ispirarsi nel definire standard e criteri al museo, il quale permetteva una solida base di indicazioni collaudate, per estendere solo in seguito a luoghi e beni più complessi per fisionomia, natura e gestione;" [2]
- l'applicabilità per il miglioramento dell'ordinaria gestione e della valorizzazione dei musei;
- la flessibilità in relazione alle tipologie museali;
- l'approccio multidisciplinare nella trattazione dei vari argomenti;
- la suddivisione in otto Ambiti funzionali (I Status giuridico, II Finanze, III Strutture, IV Personale, V Sicurezza, VI Gestione delle collezioni, VII Rapporto con il pubblico, VIII Rapporti con il territorio) contenenti ciascuno una premessa, una norma tecnica, un documento guida redatto da un gruppo di esperti;
- i diversi significati che gli standard assumono nei differenti Ambiti, ossia quelli di un requisito univocamente individuabile (norme, livelli di soglia) ad esempio per gli adempimenti in ordine alla conservazione, sicurezza e alla prevenzione del rischio oppure intesi come parametri interconnessi e graduati o ancora come linee guida.

Procedure di accreditamento per i musei sulla base degli standard regionali: l'applicazione nelle diverse regioni

La natura stessa del Decreto Ministeriale, inteso non come prescrittivo, ma come indirizzo di sviluppo, ha fatto in modo che si trasformasse in un documento che per essere applicabile avrebbe richiesto lavori di adattamento e schematizzazione. Tale compito è stato lasciato alle Regioni che hanno intrapreso percorsi autonomi, con diversità di approccio, che comunque solo in alcuni casi hanno portato all'avvio dei processi di accreditamento e autovalutazione, auspicati proprio dall'Atto d'Indirizzo per l'applicazione reale degli standard. In alcune Regioni sono ancora in corso fasi sperimentali, in altre ancora il processo risulta ancora lento e poco incisivo.
Nelle Regioni in cui è iniziata la procedura per il raggiungimento di standard di qualità, si prevede talvolta la rispondenza a requisiti minimi obbligatori (come per la Lombardia e l'Emilia-Romagna) tal'altra a obiettivi di qualità che prevedono un percorso di crescita e di miglioramento (come la Regione Piemonte). Le fasi del processo sono caratterizzate in tutti i casi da alcuni aspetti comuni:

- un momento iniziale di sperimentazione per la messa a regime degli standard e degli obiettivi di qualità;
- un periodo per la presa visione dei questionari da parte dei musei

che hanno intrapreso la procedura;
- la compilazione e l'invio on-line da parte del museo mediante il sistema dell'autovalutazione;
- la valutazione da parte di un gruppo di lavoro regionale;
- l'assegnazione o meno del riconoscimento di qualità.

I benefici attesi dopo la messa a regime di tali procedure riguardano, in generale, il miglioramento degli standard di funzionamento e per i singoli musei la visibilità come enti di eccellenza, la valorizzazione e il riconoscimento della qualità raggiunta e la possibilità di ottenere vantaggi economici. Si evidenzia che le Regioni, per non scoraggiare la partecipazione al processo hanno anche sottolineato che nel caso gli istituti museali non ottengano il riconoscimento, essi possano lo stesso intraprendere un processo di miglioramento con il supporto regionale, anche economico, proprio nei settori dove si dimostrano più deboli, avendo acquisito una documentazione completa dello stato di fatto utile per una eventuale concertazione.

Il caso studio: Regione Piemonte

L'autore in particolare riporta l'esperienza della Regione Piemonte, la quale adotta l'opzione di standard e obiettivi di qualità che prevedono un percorso di crescita e di miglioramento.
A partire dal 2005 sono infatti state elaborate per tutti gli otto ambiti definiti dall'Atto d'indirizzo delle schede di autovalutazione, pubblicate nella collana "Materiali per i Musei" [3] e disponibili on-line.
Nelle schede sono presenti 5 livelli, (ad eccezione di alcuni ambiti) e il museo si colloca in uno di essi a seconda delle proprie prestazioni indipendentemente da dimensioni, importanza e grandezza delle collezioni. Il Livello 0 è un livello di totale inadeguatezza delle strutture e dell'organizzazione della sicurezza; il Livello 1 è un livello di inadeguatezza cui si associa però una azione di programmazione volta a superare le carenze; il Livello 2 è un livello soddisfacente, il Livello 3 è un livello più che soddisfacente; il Livello 4 è un livello di eccellenza. Nell'ottica di una procedura di accreditamento il Livello 0 potrebbe corrispondere ad una situazione di non riconoscimento, il Livello 1 ad un riconoscimento sotto condizione di realizzazione degli interventi programmati entro un tempo massimo (ad esempio entro un periodo di 3 anni) e il Livello 2 ad un pieno riconoscimento.
La validità di tale metodo, ispirato al sistema adottato da alcuni Councils inglesi basato sui Range Statements [4], consiste nella creazione di un sistema dotato di una sua plasticità e capacità di conformarsi efficace-

mente al caso singolo e soprattutto nella possibilità di programmare gli obiettivi successivi da raggiungere per eventuali miglioramenti.
Nella fase sperimentale (prevista fino alla fine del 2010) si intende utilizzare lo standard:

- come indicatore delle gerarchie e delle priorità di interventi;
- come incentivazione ad affrontare tematiche particolarmente urgenti e a raggiungere obiettivi di qualità irrinunciabili anche sul breve periodo;
- per l'allocazione delle risorse.

In una seconda fase, in base all'esperienza di gestione degli standard accumulata nella fase precedente, si auspica:

- il consolidamento di un processo di autodiagnosi dei musei;
- l'utilizzo del sistema degli standard come strumento per la definizione della programmazione e di obiettivi di sviluppo e priorità e per la ricerca delle risorse necessarie, entro un quadro di riferimenti definito, comunicabile e trasparente.

Un bilancio provvisorio

Dopo circa dieci anni dalla sua emanazione si iniziano a profilare diverse esperienze che tendono a trarre un bilancio, seppur provvisorio, di quanto in Italia è stato fatto per mettere in luce obiettivi raggiunti ed eventuali criticità di applicazione. Cito in questa sede due recenti esperienze, significative per la ricchezza e varietà dei contributi, che propongono un bilancio di quanto è stato fatto in Italia in riferimento a tali temi.
La prima riguarda il volume a cura di Adelaide Maresca Companga "Strumenti di Valutazione per i Musei Italiani, esperienze a confronto", edito nel 2008 dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali [5]. Il volume passa in rassegna le metodologie proposte e le sperimentazione effettuate dal Ministero e da alcune Regioni, illustrando gli strumenti di rilevamento adottati e i risultati delle prime applicazioni.
La seconda riguarda un recente seminario nazionale promosso dal coordinamento regionale di ICOM del Piemonte, "La parola ai musei. Gli standard in Italia dieci anni dopo", tenutosi a Torino il 26 ottobre 2009 [6]. Si riporta di seguito l'abstract:
"... Sono passati otto anni dall'Atto d'indirizzo del 2001, che per la prima volta sanciva il riconoscimento del museo come istituto e come pubblico servizio, tracciando una base comune di riferimento per la ge-

stione dei musei e creando le premesse per un nuovo e più democratico sistema di relazioni tra le diverse realtà museali operanti sul territorio nazionale.
Cosa ha rappresentato l'Atto di indirizzo nella storia dello sviluppo museale degli ultimi anni? Quali obiettivi sono stati raggiunti? E soprattutto, quali criticità sono emerse nel corso dei processi di attuazione?"
A questo punto risulta spontaneo mettere in luce una contraddizione a livello italiano che deriva dal fatto che proprio nel momento in cui si sottolinea la necessità di procedure e regolamenti condivisi, l'applicazione degli standard nelle differenti Regioni ha dato vita ad una pluralità di questionari, requisiti e parametri che delineano sistemi di riconoscimento poco paragonabili tra loro [7]. Inoltre come già sopra detto le Regioni stanno arrivando al processo di introduzione degli standard con tempistiche differenti, ma sembra delinearsi uno scenario in cui per alcuni casi questa procedura non verrà neppure intrapresa, creando degli squilibri che con la redazione dell'Atto d'Indirizzo si volevano in effetti evitare.
Rimane il fatto che nelle Regioni in cui gli standard sono stati redatti e diffusi e il processo di accreditamento è iniziato si percepisce la potenzialità di tale procedura anche in termini di molteplici funzioni e benefici attesi. Nonostante le diversità si trovano tuttavia delle costanti dovute al fatto che gli enti regionali, non intendendo in alcun modo penalizzare gli istituti che intraprendono la procedura, stanno sviluppano degli standard di qualità che si adattino al singolo museo e anche nella valutazione per il riconoscimento si terranno conto delle specificità incontrate [8].
È evidente che si sia deciso di sviluppare il processo per gradi, in modo soft, proprio perché l'intenzione è quella di creare un processo condiviso e non imposto dall'alto, che serva da un lato per la conoscenza dello stato di fatto e a mettere in luce gli aspetti di qualità raggiunti tramite la raccolta di dati e dall'altro per diffondere una cultura della qualità che serva ad incrementare il servizio offerto nell'ambito dei Beni Culturali attraverso l'incentivazione del miglioramento progressivo.

BIBLIOGRAFIA

1. Dall'introduzione, testo di A. M. Compagna in, Adelaide Maresca Compagna, (a cura di), Strumenti di Valutazione per i Musei Italiani, esperienze a confronto, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Gangemi Editore, Roma, 2008
2. Dall'introduzione, testo di Cristina Acidini in, A. M. Compagna, (a cura di), op. cit.
3. AA VV, Materiali per i Musei, Regione Piemonte e Centro Studi Piemontesi, Torino, scaricabili dal sito: http://risorsebeniculturali.fitzcarraldo.it/risorsebeniculturali/standard-museali/pubblicazioni-standard
4. West Midlands Regional Museums Council, Fast Forward. Priorities for museums development in the West Midlands, 2000, p. 5
5. A. M. Compagna, (a cura di), op. cit.
6. "La parola ai musei. Gli standard in Italia dieci anni dopo"
   Seminario nazionale ICOM Italia, Torino, 26 ottobre 2009, atti disponibili prossimamente sul sito: http://www.icom-italia.org/index.php?option=com_content&task=view&id=483&Itemid=29
7. Margherita Sani, "L'applicazione degli standard nelle Regioni italiane" in A. M. Compagna, op. cit., pp. 277-279
8. Margherita Sani, op. cit., p. 277-279

La conservazione preventiva nel contesto degli standard museali italiani

Chiara Bonvicini

Le opere d'arte sono inevitabilmente esposte al fenomeno del degrado, in relazione al carattere instabile dei materiali che le costituiscono. Il degrado avviene infatti in modo naturale e progressivo con l'invecchiamento dell'oggetto e l'alterazione delle sue proprietà chimico-fisiche. È noto, però, che condizioni microclimatiche non idonee e procedure di gestione non corrette possono accelerarne i processi e portare, sul lungo periodo, alla perdita totale dei beni conservati.

Elemento fondamentale delle politiche museali e della cura delle collezioni è quindi il concetto di "conservazione preventiva" che deve fondarsi su idonee politiche basate sull'adozione di comportamenti e di precauzioni tecniche, applicabili con continuità, volte a prevenire o rallentare i fenomeni di degrado, riducendoli alla minima intensità. Per prevenzione si intende infatti il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto [1].

La "conservazione preventiva" si distingue quindi dal restauro, inteso come momento di conservazione "terapeutica" finalizzato alla rimozione delle cause di degrado presenti e al rimediare agli effetti negativi da esse prodotte sull'opera [2]. Una corretta politica di gestione, basata sulla "conservazione preventiva", permette, quindi, di evitare, o almeno rimandare nel tempo, l'intervento di restauro, che se, da una parte, risulta indispensabile nel momento in cui il deterioramento si presenta sull'opera, dall'altra, non sempre offre risultati soddisfacenti, risulta oneroso ed è comunque un intervento invasivo e potenzialmente distruttivo.

Come sottolineato dal codice deontologico dell'ICOM per i musei [3], i professionisti museali hanno la responsabilità di agire in un'ottica di conservazione preventiva al fine di proteggere le collezioni loro affidate, in deposito, in esposizione o in transito, in modo che possano essere trasmesse indenni alle future generazioni. Tale attività richiede la valutazione preliminare dei rischi di degrado per la collezione e la stesura di un "piano di conservazione preventiva" che definisca le strategie per minimizzare i rischi individuati.

Il degrado delle collezioni museali

Gli effetti del degrado sulle opere d'arte, sebbene tutti riconducibili in fine a processi di natura chimica o fisica, possono essere originati da cause differenti. Le possibili fonti di rischio per la conservazione delle collezioni museali sono infatti numerose e di varia natura.
In particolare è possibile distinguere fra cause:

- ambientali: microclima dell'ambiente non idoneo per la conservazione (valori di umidità relativa e temperatura, e loro gradienti nel tempo, qualità dell'illuminazione, qualità dell'aria - agenti inquinanti e polvere);
- dovute ad altri fattori: agenti biologici (attacchi da animali, insetti e microrganismi), agenti umani (furto, atti vandalici, spostamenti illeciti, contati non autorizzati); agenti meccanici (vibrazioni della struttura edilizia, errate condizioni di appoggio)…

Il degrado, riconducibile a cause ambientali, è un processo di natura cumulativa, dove intervengono sia il numero che l'intensità dei singoli eventi. Ogni perturbazione ambientale contribuisce ad accelerare il processo di degrado, anche se talvolta gli effetti si verificano in modo impercettibile all'occhio umano. In tabella sono riportati, a titolo di esempio, alcu-

TABELLA 1 - Effetti di deterioramento riconducibili a cause ambientali (valori non ottimali di conservazione e fluttuazioni non controllate nel tempo dei parametri ambientali)

	Effetti di deterioramento
Umidità Relativa (UR)	- cambiamenti di forma e di dimensioni - effetti chimici (corrosione dei metalli, scolorimento e aumento della fragilità di carta, tessuti e dipinti) - deterioramento biologico
Temperatura (T)	- variazioni dimensionali - effetti chimico-fisici (accelerazione delle reazioni chimiche e fisiche)
Illuminazione	- effetti chimici (reazioni di ossidazione, alterazioni dei pigmenti, scolorimenti e sbiadimenti, aumento della fragilità di alcuni materiali) - aumento della temperatura superficiale degli oggetti
Inquinanti e particolato sospeso	- effetti chimici (corrosione, ossidazione, solfatazione e carbonatazione, aumento della fragilità delle sostanze polimeriche) - perdita di materiale superficiale - sviluppo dei microrganismi - modifiche dell'aspetto estetico degli oggetti

ni degli effetti principali di deterioramento delle opere d'arte causati dal mantenimento di valori non ottimali delle grandezze ambientali oppure dalle loro fluttuazioni nel tempo, se non controllate.
Le condizioni microclimatiche di un ambiente museale, da sole o in concomitanza con altri fattori, giocano un ruolo di fondamentale importanza nei processi di degrado e i vari materiali, o le singole parti costituenti gli oggetti, rispondono in modo diverso ai valori assunti dalle grandezze ambientali e alle loro variazioni, sia in senso temporale che spaziale. Rapide variazioni temporali (o forti gradienti spaziali) di temperatura e/o di umidità relativa, infatti possono causare, a molti materiali stress interni con effetti irreversibili e cumulativi che accelerano il processo di degrado [4]. Si sottolinea come gli effetti dell'ambiente sul degrado delle opere d'arte possono risultare differenti in relazione alla storia pregressa della particolare opera e alla natura del materiale (natura organica o inorganica, materiali igroscopici o non igroscopici…).
L'ottenimento di condizioni ambientali idonee è quindi un'esigenza irrinunciabile per consentire la corretta conservazione di opere particolarmente preziose e/o sensibili.
È importante, però, che un corretto piano di conservazione preventiva consideri contemporaneamente tutte le cause di degrado, non solamente quelle ambientali, e che ponga attenzione anche agli aspetti legati alla gestione delle collezioni e alla disponibilità di risorse del museo.

Il piano di conservazione preventiva

Un piano di conservazione preventiva può essere inteso come la preparazione di una strategia sul lungo periodo (pianificazione di azioni) che permetta di minimizzare gli effetti del degrado sulle collezioni museali. La definizione della strategia di azione è un compito che richiede competenze pluridisciplinari al fine di definire le necessità delle collezioni, individuare le priorità e trovare le risorse per intervenire [5].
Punto di partenza della definizione di un piano di conservazione è costituito dall'analisi dello stato conservativo dei beni e dell'ambiente nel quale sono custoditi, mediante l'ispezione dei luoghi, la raccolta di dati e la presa visione delle procedure di gestione. Tali attività possono essere riassunte nelle seguenti tappe di rilievo dello stato di fatto:

1. Raccolta di informazioni sulle collezioni:
- tipologie delle collezioni e natura dei materiali che le costituiscono;
- dimensioni e importanza delle collezioni;
- condizioni di conservazione.

Tali informazioni sono utili per la definizione delle esigenze conservative delle opere esposte, che è un processo lungo e delicato, per il quale è

necessario tenere conto, oltre che delle informazioni sopra citate, anche della storia pregressa del bene, in cui il microclima può aver determinato un assestamento del materiale, e di passati interventi di restauro, che possono aver turbato l'equilibrio raggiunto. Spesso la scelta finale delle condizioni di conservazione è una scelta di compromesso, soprattutto per la conservazione di collezioni miste, con esigenze conservative differenti, che per questioni di carattere organizzativo e di gestione devono essere collocate negli stessi ambienti, con uniche condizioni microclimatiche.

2. Valutazione dei rischi per la collezione

- Analisi delle condizioni generali della struttura edilizia (grado di protezione rispetto alle condizioni climatiche esterne), delle dotazioni impiantistiche per il controllo ambientale e delle procedure di manutenzione delle strutture e degli impianti.
- Studio dell'interazione del manufatto con l'ambiente, mediante monitoraggio delle grandezze ambientali (T, UR, illuminazione, qualità dell'aria) al fine di individuare le criticità e proporre soluzioni migliorative. Tale operazione deve essere svolta da personale qualificato mediante l'impiego di strumentazioni e procedure adeguate.
- Analisi delle aree adibite all'esposizione, all'esposizione temporanea e al deposito (considerazioni su: materiali utilizzati per gli arredi espositivi e/o depositi, spazi disponibili, tecnologie per l'illuminazione…).
- Valutazione delle procedure di esposizione, rotazione delle collezioni, movimentazione e trasporto delle opere.

3. Valutazione delle pratiche di conservazione già adottate dal museo
(redazione di schede conservative, pratiche legate alla sicurezza, campagne di disinfestazione, pulizie delle opere e dei locali …)

L'analisi delle informazioni raccolte, incrociate con le disponibilità di risorse dell'istituzione museale (disponibilità di spazi, di personale, di budget), porta all'elaborazione del piano di intervento di conservazione preventiva. Per rendere tale piano facilmente applicabile è utile evidenziare delle priorità di intervento che saranno organizzate sulla base del periodo (breve, medio, lungo) e del costo (basso, medio, alto) di realizzazione [6].
Gli interventi di conservazione preventiva devono quindi essere stabiliti, caso per caso, sulla base delle reali esigenze conservative della collezione considerata, con l'obiettivo primario di creare ambienti sicuri

e condizioni ottimali di conservazione. Si riportano, di seguito, alcuni esempi di interventi di conservazione preventiva:

- Predisposizione di sistemi di monitoraggio per il rilievo delle grandezze microclimatiche al fine di valutare il rischio per la conservazione delle opere.
- Interventi su strutture ed impianti (tali interventi risultano però sempre molto complessi e onerosi, dato che, nella realtà italiana, gran parte dei musei e degli spazi espositivi sono ospitati in edifici monumentali, di interesse storico-architettonico).
- Identificazione delle zone di maggior criticità per la conservazione e messa a punto delle strategie di controllo climatico.
- Identificazione di soluzioni migliorative riguardo alle tecnologie per l'allestimento (contenitori museali), per il controllo microclimatico e per il controllo della qualità dell'aria.
- Schermatura delle finestre per il controllo della radiazione naturale e scelta di idonei sistemi di illuminazione artificiale.

Gli interventi effettuati devono necessariamente essere seguiti da una fase di controllo e verifica dell'efficacia e di eventuale modifica della strategia adottata.

Riferimenti

In Italia, l'Atto d'indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei del 2001 [7] affronta le tematiche legate alla conservazione preventiva delle collezioni museali e offre linee guida all'interno dell'ambito VI – Gestione e cura delle collezioni, in particolare nel sottoambito 1 – norme per la conservazione ed il restauro comprendenti l'esposizione e la movimentazione.
Il decreto stabilisce la necessità di fondare la gestione delle collezioni su idonee politiche volte a garantire la prevenzione dal degrado. Si richiede per esempio che i metodi e le condizioni di conservazione delle collezioni siano oggetto di documenti e procedure scritte, adottate in conformità con la normativa vigente, e che vengano redatte schede conservative per l'organizzazione sistematica delle informazioni tecnico-scientifiche relative allo stato di conservazione dei manufatti.
Grande attenzione è posta alla prevenzione dei rischi dovuti a cause ambientali e alla definizione di valori di riferimento dei parametri ambientali per assicurare la corretta conservazione dal punto di vista fisico-chimico e per prevenire gli attacchi microbiologici sui materiali organici.
Si sottolinea però, che l'opportunità di modificare le condizioni microclimatiche degli ambienti museali, in funzione di quanto indicato dallo

standard, deve essere attentamente valutata in relazione allo stato di conservazione dei manufatti, all'area geografica in cui il museo si trova ed alle reali possibilità di assicurare la costanza dei valori sul lungo periodo. Nelle tabelle 2, 3 e 4 sono riportati alcuni esempi dei valori di riferimento suggeriti.
È inoltre sottolineata la necessità di assicurare idonee condizioni ambientali attraverso l'adeguata manutenzione degli impianti, l'adozione di misure di protezione dai rischi, la verifica degli standard di conservazione ed il periodico rilevamento delle condizioni termoigrometriche, luminose, e di qualità dell'aria degli ambienti in cui si trovano i manufatti. Lo scopo del rilievo dei parametri ambientali è la redazione di rapporti tecnici finalizzati ad evidenziare l'influenza dell'ambiente sullo stato di conservazione dei manufatti e contenenti indicazioni sui provvedimenti necessari al raggiungimento delle condizioni ottimali per la conservazione.

TABELLA 2 - estratto della tabella che indica i valori microclimatici entro i quali sarebbe opportuno conservare le diverse categorie di materiali per prevenire danni di tipo chimico–fisico o microbiologico

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

TABELLA 3 - estratto della tabella che indica i valori limite raccomandati per gli inquinanti chimici aerodispersi (valori derivati dai riferimenti bibliografici disponibili)

Inquinante	Archivi (NISO-TR01/95)	Museo (Brimblecombe)	UNI 10586/97
Biossido di zolfo	5-10 ppb (vol)	< 0.4 ppb (vol)	≤ 10 _g/m3
Biossido di azoto	5-10 ppb (vol)	< 2.5 ppb (vol)	≤ 2 _g/m3 (NO_x)
Ozono	5-10 ppb (vol)	1 ppb (vol)	≤ 2 _g/m3

TABELLA 4 - Livelli massimi di illuminamento per reperti e manufatti caratterizzati da diversa fotosensibilità

Categoria di fotosensibilità		Illuminamento massimo (lux)
1 - molto bassa	*Reperti e manufatti relativamente instabili alla luce:* metalli, materiali lapidei e stucchi senza strato di finitura, ceramiche, gioielleria, smalti, vetri, vetrate policrome, reperti fossili.	Superiore a 300 ma con limitazioni sugli effetti termici in particolare per stucchi, smalti, vetrate e fossili.
2 - media	*Reperti e manufatti moderatamente sensibili alla luce:* pitture ad olio ed a tempera verniciate, affreschi – materiali organici non compresi nei gruppi 3 e 4 quali quelli in corno, ossa, avorio e legno	150
3 - Alta	*Reperti e manufatti altamente sensibili alla luce:* 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 - molto alta	*Reperti e manufatti estremamente sensibili alla luce:* sete, inchiostri, coloranti e pigmenti a maggior rischio di scoloritura come lacche, ecc.	50

Oltre agli interventi di prevenzione indirizzati all'ambiente (controllo dei parametri microclimatici, di illuminazione e di qualità dell'aria), ai quali va data la massima priorità, nell'Atto d'indirizzo è ribadita l'importanza di considerare anche gli aspetti legati agli allestimenti museali e alle procedure di movimentazione e di trasporto delle opere (linee guida per la modifica e la realizzazione ex novo di contenitori museali e di imballaggi per il trasporto, corrette procedure di movimentazione e trasporto…)
A livello internazionale sono state sviluppate, a partire dagli ultimi anni, norme specifiche relative alle condizioni di conservazione e strumenti per la valutazione dei rischi, che definiscono le metodologie di conservazione preventiva. In particolare si riconoscono le direttive dell'ICOM, dell'ICCROM e di alcuni istituti di ricerca quali per esempio il Canadian Conservation Institute e il Getty Conservation Institute. Sono numerose, inoltre, le indicazioni sulla conservazione preventiva (linee guida, standard e benchmarks) sviluppate a livello locale da associazioni e/o

istituzioni che si occupano di tutela del patrimonio culturale.
È disponibile anche una nutrita letteratura scientifica che fornisce indicazioni sui limiti di accettabilità dei parametri termoigrometrici, ritenuti ammissibili per la corretta conservazione delle opere d'arte [8].
Fra i periodici e le riviste di carattere internazionale che affrontano le tematiche proprie della conservazione preventiva si citano, come esempio, le seguenti:

- Journal of Cultural Heritage (Elsevier)
- Museum International (Blackwell)
- Museum managment & curatorship; International Journal of museum management and curatorship (Elsevier)
- Studies in Conservation - the journal of the International Institute for conservation of historic and artistic works (James & James).

Nel panorama italiano, oltre al già citato Atto d'indirizzo, anche la normativa tecnica ha cercato di rispondere all'esigenza di fornire indicazioni per la conservazione delle opere, in particolare si segnalano le seguenti norme:

- UNI 10829:1999 Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi
- UNI 10586:1997 Documentazione - Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti
- UNI 10969:2002 Beni culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione

Altre norme tecniche si riconoscono a livello internazionale quali ad esempio quelle pubblicate dal National Information Standards Organization (NISO) e dall'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air -Conditioning Engineers) [9]

BIBLIOGRAFIA

1. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, 2004: Codice per i Beni Culturali e Paesaggistici, Decreto Legislativo n. 42 del 22 Gennaio 2004
2. C. Brandi, Teoria del Restauro, Edizioni di Storia e Letteratura, Roma, 1963
3. ICOM (International Council of Museums) Codice deontologico dell'ICOM per i Musei
4. UNI 10969:2002 Beni culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione
5. ICCROM, Teamwork for Preventive Conservation , 2003, www.iccrom.org
6. C. Menegazzi (ICOM), Workshop "Conservazione Preventiva e Gestione Integrata delle Emergenze nel settore dei Beni Culturali", 8 maggio 2009, Torino.
7. Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei (D. Lgs. n.112/98 art. 150 comma 6)
8. M. Hall, On display, Lund Humphries, Londra, 1987
   G. Thomson, The Museum Environment. 2nd ed. Butterworth, Londra, 1987
   J. Thompson, Manual of curatorship 2nd ed., Butterworth Heinemann, Oxford, 1992
   N. Stolow, Conservation and exhibition, Butterworth, Londra, 1987
   C. Aghemo, M. Filippi, E. Prato, Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico,Comitato Giorgio Rota, Torino, 1996
9. ASHRAE Museum, libraries, and archives, ASHRAE Applications Handbook - HVAC Applications (SI), chapter 21, 2007

Strumenti di indagine della qualità delle strutture museali

Marco Filippi
Michela Rota

Nel contesto museale italiano il processo di analisi della qualità delle strutture museali è attualmente in itinere: a partire dall'Atto di Indirizzo (D.M. 10 maggio 2001), le Regioni stanno procedendo all'elaborazione di standard riguardanti più aspetti della realtà museale, tra i quali le strutture, la sicurezza, la gestione e cura delle collezioni. Contemporaneamente si stanno avviando processi per la messa a punto di strumenti di supporto per l'individuazione delle carenze che richiedono interventi urgenti e per il conseguente orientamento degli investimenti al fine di raggiungere la piena valorizzazione dei beni culturali che i vari enti si trovano a gestire.
Tra i principi ispiratori del Decreto Ministeriale si sottolinea come "la qualità del museo deve essere valutata non in relazione al suo livello di merito, in relazione alle collezioni possedute o all'attrazione del pubblico o ancora alla dimensione fisica, e nemmeno in base al risultato di una valutazione tecnica sulle dotazioni di strutture ed impianti, ma bensì in relazione alla capacità di fornire il servizio che ne costituisce le finalità, cioè alla capacità di soddisfare la sua missione." [1]
"I musei sono chiamati ad operare in "garanzia di qualità" cioè a prevedere un insieme di azioni pianificate e sistematiche necessarie a dare adeguata confidenza che un servizio soddisfi determinati "obiettivi di qualità". I musei devono essere dotati di un "sistema di qualità", cioè di strutture organizzative, procedure e risorse specifiche per il mantenimento della qualità" [2].
In quest'ottica lo sviluppo delle procedure di accreditamento, a cura delle Regioni, si pone in linea con tali obiettivi, al fine di accertare la qualità del servizio reso dal museo in tutti i campi di attività. Nelle Regioni in cui il processo è avviato sono state elaborate delle schede di autovalutazione e delle linee guida per la compilazione, ma differente è il modello con cui

vengono proposte.
Un primo metodo è quello in cui si richiede la presenza o meno del servizio o della dotazione e il riconoscimento avviene attraverso la rispondenza a requisiti minimi e/o obbligatori (almeno questo sta avvenendo per la fase iniziale di avviamento del processo), come nel caso della Lombardia e dell' Emilia-Romagna. La scelta dei requisiti minimi (volutamente ridotti in numero in entrambi i casi) è stata fatta in modo da non penalizzare eccessivamente l'accreditamento del maggior numero possibile di musei poiché "l'obiettivo della politica regionale è far crescere tutti i musei, non solo alcuni" [3]. In Lombardia ad esempio il riconoscimento avviene anche nel caso in cui non si risponda a tutti i requisiti minimi, e in questi casi vengono emesse delle raccomandazioni per l'elaborazione di piani pluriennali per il raggiungimento dei requisiti mancanti [4].
Si riportano di seguito nelle tabelle 1 e 2 i requisiti minimi e obbligatori relativi a strutture e sicurezza per la Lombardia e l'Emilia-Romagna.

TABELLA 1 - Regione Lombardia – Requisiti minimi

Ambiti del D.M. 10/5/2001	
Ambito III **Strutture del Museo**	**Requisito minimo 8** Il museo/raccolta museale deve avere spazi espositivi attrezzati e adeguati a presentare una selezione significativa delle collezioni e spazi sufficienti al deposito delle collezioni. Le collezioni devono avere una collocazione fisica tale da non essere sottoposte a fenomeni di degrado dovuti all'inadeguatezza degli ambienti.
Ambito V **Sicurezza**	**Requisito minimo 7** L'edificio del museo/raccolta museale, tenuto conto delle deroghe previste per gli istituti museali situati negli edifici storici, deve essere a norma sotto il profilo statico, impiantistico, igienico-sanitario e del superamento delle barriere architettoniche. Deve essere dotato di sistema di sicurezza anti-incendio e anti-intrusione. Tutti gli impianti devono essere adeguatamente manutenuti e adeguatamente collocati rispetto alle opere.
Ambito V **Sicurezza**	**Requisito minimo 4** Designazione del responsabile della sicurezza mediante un atto formale.

TABELLA 2 - Emilia-Romagna - Requisiti obbligatori

Ambiti del D.M. 10/5/2001	
Ambito III **Strutture del Museo**	**Requisito minimo 5** L'edificio deve essere a norma sotto il profilo statico, impiantistico, igienico-sanitario e del superamento delle barriere architettoniche. Gli impianti e gli allestimenti devono adempiere alla normativa vigente per la sicurezza delle strutture, delle persone e delle opere conservate.

Ambito VI

Gestione e cura delle collezioni

Requisito minimo 8

Monitoraggio periodico degli ambienti museali nei parametri di temperatura, umidità relativa e illuminamento e documentazione dei dati rilevati.

Un differente approccio è quello che sta seguendo la Regione Piemonte, in cui si indaga sulla prestazione delle dotazioni con parametri interconnessi e graduati e con livelli di complessità crescenti; è stato proposto uno strumento per verificare la qualità delle strutture museali indipendentemente dalle dimensioni e dalle dotazioni fisiche. Tale metodo, già anticipato nel primo capitolo, presenta il vantaggio di valutare le strutture dell'istituzione museale non in funzione delle dotazioni ma piuttosto delle prestazioni. Le strutture del museo sono state suddivise in elementi, chiamati nello specifico elementi strutturali caratteristici; per ciascuno di essi si segnala la prestazione offerta seguendo dei livelli di complessità via via crescenti; in questo modo si rende chiaro e riconoscibile al museo quale sia il percorso da programmare per il raggiungimento degli obiettivi di qualità. Gli elementi strutturali caratteristici individuati sono gli spazi esterni, gli spazi interni, gli spazi espositivi e i depositi [5].

Una particolarità delle schede di autovalutazione riguarda il fatto che in linea con quanto proposto dall'Atto d'indirizzo, all'interno di ciascun elemento si mantiene la suddivisione tra le esigenze per il pubblico, il personale e la collezione.

Di seguito si riporta nella tabella 3, un esempio di scheda di autovalutazione relativa agli spazi del percorso espositivo.

TABELLA 3 - Regione Piemonte - Scheda di autovalutazione per spazi interni al percorso espositivo

PUBBLICO

	Descrizione parametro	Attributi del parametro
Livello 0	• Barriere architettoniche (compatibilmente con le caratteristiche architettoniche della sede)	Presenti in più del 15% delle superfici aperte al pubblico
	• Percorsi di visita	Non chiari e organizzati
	• apparati informativi per l'orientamento	Assenti
	• Dissuasori (attrezzature o sistemi di sicurezza equivalenti)	Assenti
	• Zone di sosta	Assenti
Livello1	• Barriere architettoniche (compatibilmente con le caratteristiche architettoniche della sede)	Programma di eliminazione
	• Percorsi di visita	Poco chiari e organizzati
	• Apparati informativi per l'orientamento	Insufficienti
	• Dissuasori (attrezzature o sistemi di sicurezza equivalenti)	Inadeguati
	• Zone di sosta	Inadeguate in relazione all'estenzione dei percorsi espositivi

Livello 2	• Barriere architettoniche (compatibilmente con le caratteristiche architettoniche della sede) • Percorsi di visita • apparati informativi per l'orientamento • Dissuasori (attrezzature o sistemi di sicurezza equivalenti) • Zone di sosta	Assenti nell'85% delle superfici aperte al pubblico Chiari e organizzati Sufficienti Presenti Presenti
Livello 3	• Come 2, più apparecchiature audiovisive di orientamento e/o informazione • apparati informativi per l'orientamento	Presenti Presenti
Livello 4	• Come 3, più collegamenti in rete per consultazioni on line	Presenti

COLLEZIONE

Descrizione parametro		Attributi al parametro
Livello 0	• Apparecchiature di monitoraggio delle condizioni ambientali (temperatura e umidità relativa dell'aria, illuminamento) • Controllo del microclima (temperatura e umidità relativa dell'aria, ove necessario) • Controllo dell'illuminazione naturale • Illuminazione • Allestimento delle collezioni organizzato, con attrezzature per quanto appeso, appoggiato, sospeso, protetto e speciale • Commento grafico alle collezioni e segnaletica della sala (in presenza di ordinamento di tipo complesso e/o su specifica richiesta del conservatore) • Segnaletica di sala • Accessibilità alle collezioni per pulizia periodica	Non disponibili presso la sede Assente Assente Inadeguato Inadeguato Inadeguato Assente Assai difficile
Livello 1	• Apparecchiature di monitoraggio delle condizioni ambientali (temperatura e umidità relativa dell'aria, illuminamento) • Controllo del microclima (temperatura e umidità relativa dell'aria, ove necessario) • Controllo dell'illuminazione naturale • Illuminazione • Allestimento delle collezioni organizzato, con attrezzature per quanto appeso, appoggiato, sospeso, protetto e speciale • Commento grafico alle collezioni e segnaletica della sala (in presenza di ordinamento di tipo complesso e/o su specifica richiesta del conservatore) • Accessibilità alle collezioni per pulizia periodica	Programma di approvvigionamento Programma di introduzione Programma di introduzione Programma di introduzione Programma di completamento Non del tutto adeguato Difficile
Livello 2	• Apparecchiature di monitoraggio delle condizioni ambientali (temperatura e umidità relativa dell'aria, illuminamento) • Controllo del microclima (temperatura e umidità relativa dell'aria, ove necessario) • Controllo dell'illuminazione naturale • Illuminazione artificiale • Allestimento delle collezioni organizzato, con attrezzature	Disponibili edutilizzate con periodicità Adeguato Adeguato Adeguato Adeguato

Livello 2	per quanto appeso, appoggiato, sospeso, protetto e speciale	
	• Commento grafico alle collezioni e segnaletica della sala (in presenza di ordinamento di tipo complesso e/o su specifica richiesta del conservatore)	Adeguato
	• Accessibilità alle collezioni per pulizia periodica	Adeguato
Livello 3	• Come 2 più spazi utilizzati per esposizioni temporanee con dotazione tecnologica minima per organizzazione di eventi	Presenti
	• Controllo dell'illuminazione artificiale con accenzioni differenziate	Presente
	• Soluzioni ergonomiche in funzione dell'età e delle esigenze dei visitatori (adulti, bambini e diversamente abili)	Efficaci
	• Visione degli oggetti dall'alto, frontale, da un lato, da più lati	Possibile
	• Monitoraggio periodico della qualità dell'aria (inquinanti gassosi e agenti biologici)	Programmato
	• Movimentazione opere fuori formato (ove necessario)	Possibile
Livello 4	• Come 3 più spazi adattabili alla rotazione delle collezioni e/o integrazione delle stesse	Presenti
	• Spazi integrativi a quelli esistenti da utilizzare per far fronte all'incremento espositivo della sede	Possibile
	• Monitoraggio continuo e archiviazione dei dati relativi alle condizioni ambientali	Presente
	• Controllo del microclima e dell'illuminazione artificiale per singole zone	Presente

PERSONALE

Descrizione parametro		Attributi al parametro
Livello 0	• Barriere architettoniche (compatibilmente con le caratteristiche della sede	Presenti
	• Condizioni dell'ambiente di lavoro	Inadeguate
	• Arredo ergonomico dei locali	Inadeguato
Livello 1	• Barriere architettoniche (compatibilmente con le caratteristiche della sede	Programma di eliminazione
	• Condizioni dell'ambiente di lavoro	Programma di adeguamento
	• Arredo ergonomico dei locali	Programma di dotazione
Livello 2	• Barriere architettoniche (compatibilmente con le caratteristiche della sede	Assenti
	• Condizioni dell'ambiente di lavoro	Adeguate
	• Arredo ergonomico dei locali	Adeguato
Livello 3	• Come 2 più spazi attrezzati atti a garantire migliori condizioni di lavoro	Presenti

Altri strumenti di indagine

Gli standard museali, come descritto in precedenza, presentano vantaggi nel delineare un profilo generale dell'offerta del servizio reso, ma devono essere affiancati da altri strumenti nei casi in cui si voglia una restituzione più dettagliata della situazione esistente, come ad esempio per la trattazione dei temi riguardanti la sicurezza e le strutture. Per citare un esempio si pensi alla sicurezza antivandalica e antifurto spesso correlata alla presenza di personale all'interno del museo, anche in presenza di impianti tecnologici perfettamente funzionanti. Si ritiene quindi siano necessari per ulteriori metodologie e procedure per la valutazione che in alcuni casi sono già consolidate, mentre in altri sono in corso di elaborazione.

Tra gli strumenti consolidati si può inserire il Facility Report, per il prestito delle opere d'arte, una procedura scritta che specifica gli aspetti tesi alla salvaguardia e alla protezione delle collezioni per mezzo dell'acquisizione di informazioni, organicamente classificate, che permettono di valutare i rischi possibili causati dalla movimentazione delle raccolte e dalla relativa esposizione.

Rappresenta una sorta di check list della sicurezza ambientale dell'oggetto e del luogo in cui esso verrà esposto e protetto, una sorta di garanzia che l'ente prestatore richiede affinché lo spostamento temporaneo avvenga nelle condizioni più sicure possibili, da un punto di vista ambientale e di protezione anticrimine. In generale le schede sono suddivise secondo diversi argomenti: informazioni generali della sede, spazi espositivi, condizioni ambientali, sicurezza, incendi, etc.

Attualmente i maggiori enti museali del mondo hanno messo a punto formulari standard. Negli USA, attraverso il Registrars Committee of the American Associations of Museums, è stato elaborato un formulario piuttosto completo rispetto a quelli finora disponibili. Anche la Gran Bretagna utilizza un formulario standardizzato, che rappresenta, in un certo senso, una versione semplificata di quello americano.

A livello europeo un risultato importante è stato il documento Lending to Europe del 2005 [6], un insieme di linee guida che intendevano orientare l'azione di musei, Stati membri e Istituzioni europee verso l'individuazione dei modi e degli strumenti atti a facilitare per il futuro il prestito di collezioni museali su scala europea. In Italia, non vi sono formulari normalizzati, il riferimento che si sta diffondendo è lo stesso del modello europeo diffuso attraverso NEMO (Network of European Museum Organisations) [7] che è simile al modello inglese, anche se fino ad oggi da una prima indagine effettuata si ritiene che nei principali musei sia stato soprattutto utilizzato il modello americano.

Un'altra metodologia di indagine della qualità delle strutture museali è quella proposta nel progetto di rilevazione del Ministero dei Beni e

Attività Culturali in tema di sicurezza [8].
Si tratta di una lista di controllo [7] il cui fine è la ricognizione dello stato della sicurezza dei beni culturali per l'attivazione di misure preventive, di compensazione e mitigazione dei rischi. Le check list elaborate nell'ambito di una convenzione tra il MIBAC e una associazione temporanea di imprese, possono servire anche come linee guida per il progettista che deve svolgere un progetto di messa in sicurezza a partire dall'analisi rischio. L'indagine riguarda inizialmente il contesto in cui è inserito il bene culturale per poi proseguire con la raccolta di informazioni sempre più dettagliate che vengono archiviate in un database, in modo che sia la consultazione che l'aggiornamento risultino di facile accessibilità.
I metodi di indagine per la valutazione della qualità si stanno sviluppando all'interno delle varie Regioni anche come supporto alle procedure di applicazione degli standard. Nel quadro generale italiano è stato rilevato come un problema diffuso riguardi la scarsità di procedure scritte che possano aiutare nella gestione delle attività e delle azioni da intraprendere.
Si mette in evidenza l'esperienza della Regione Piemonte, attiva nella "Promozione della tutela e dello sviluppo delle attività e dei beni culturali" (L.R. 58/78) si è posta come priorità quella di intervenire nel supporto a:

- progetti di recupero dei beni (progetti di riuso e gestione del bene);
- progetti inseriti nella programmazione regionale;
- progetti e interventi già in corso di realizzazione.

In riferimento agli obiettivi regionali la Regione Piemonte intende perciò

- diffondere l'applicazione e introdurre la pratica degli standard museali attraverso la creazione di una procedura di accreditamento;
- creare un protocollo oggettivo per valutare l'adeguatezza delle richieste di finanziamento da parte degli istituti museali.

In tale quadro si colloca la proposta ideata e sperimentata dagli Autori, di una indagine dettagliata volta a fotografare la situazione esistente nel singolo museo al fine di raccogliere informazioni che possano costituire il punto di partenza

- per una partecipata e condivisa analisi dei rischi per la conservazione
- per l'avvio di processi decisionali volti a migliorare la qualità delle strutture e dei servizi dell'istituzione museale.

Una tale indagine consente infatti di evidenziare le necessità inerenti, ad esempio la conservazione preventiva e la salvaguardia delle collezioni e,

soprattutto, di formalizzare corrette procedure gestionali in vista della creazione di un vero e proprio "sistema di assicurazione della qualità", basato sulla responsabilizzazione delle strutture organizzative del museo e sulla consapevolezza degli interventi da attuare per la messa a norma e il miglioramento/rinnovamento delle dotazioni esistenti.

Confidential Facility Report

L'indagine dettagliata di cui sopra può essere svolta adottando lo strumento denominato Confidential Facility Report (CFR), messo a punto attraverso una sperimentazione avvenuta in Piemonte nell'ambito di una ricerca applicata denominata "Sicurezza dei Beni Culturali" finanziata dalla Compagnia di San Paolo (2007-2009, Torino) e sviluppata in collaborazione tra SiTi (Istituto Superiore dei Sistemi Territoriali) e il Gruppo TEBE (Dener) del Politecnico di Torino, di cui gli Autori fanno parte.
Il CFR è un elaborato prevalentemente grafico/fotografico, ma non solo; è suddiviso in sezioni che indagano diversi aspetti della realtà museale: le strutture, gli spazi e i caratteri distributivi, la sicurezza, le dotazioni impiantistiche, gli allestimenti, la conservazione delle collezioni, gli aspetti gestionali, le figure professionali, la sicurezza e la manutenzione.
Per ogni sezione viene analizzato e commentato lo stato di fatto e vengono messe in evidenza le criticità.
L'attributo "confidential" deriva dal fatto che, rispetto al ben noto Facility Report, il CFR può contenere informazioni riservate (ad esempio quelle relative alla sicurezza e alle condizioni di conservazione).
Il CFR costituisce una fotografia dell'istituzione museale al fine di evidenziare eventuali criticità che possono essere corrette per il controllo della qualità delle strutture, della sicurezza e della conservazione.
La messa in luce delle criticità non è fine a se stessa, ma si correla alla stesura di un rapporto di priorità basato sulle reali esigenze dell'istituzione museale che può essere accompagnato da indicazioni per l'attivazione di aree sperimentali.
Il CFR può essere un utile strumento per la redazione di linee guida per la rifunzionalizzazione, la riqualificazionio della sede museale.

Il processo

I documenti che caratterizzano le varie fasi del processo sono i seguenti:

DD Data Document (compilato dal rilevatore)
CFR Confidential Facility Report (per il direttore)
FR Facility Report (per il prestatore)

RR Registration Report (per accreditarsi secondo gli standard regionali)
Ex S Executive Summary

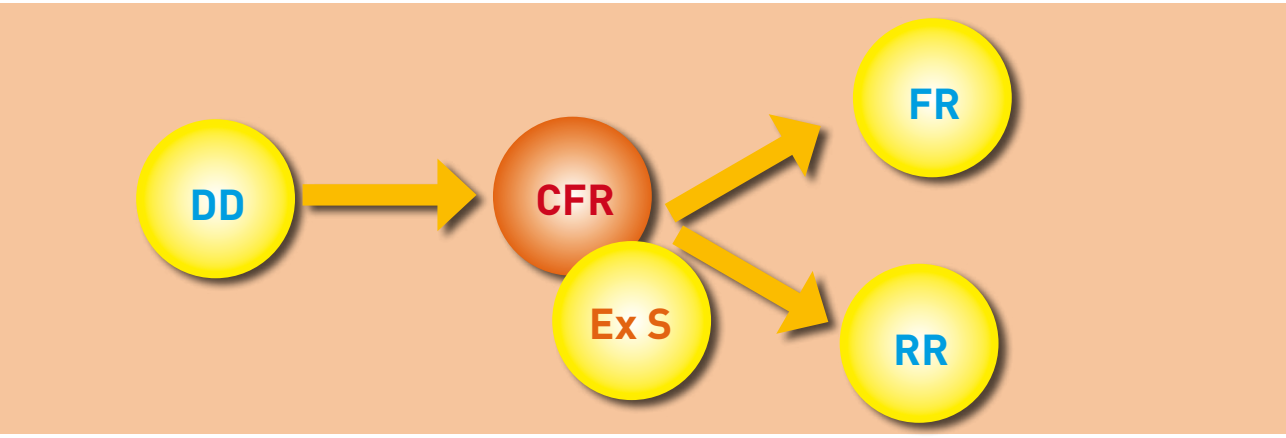


FIGURA 1: Schema dei documenti che compongono il CFR

Il Data Document (DD) è lo strumento di supporto per la raccolta delle informazioni, costituito da una serie numerosa di check list, divise secondo sezioni di indagine (le stesse del CFR) per evidenziare le prestazioni e le dotazioni del museo in esame.
La raccolta delle informazioni e la messa in luce di eventuali criticità avviene sia tramite una attività di rilievo in campo (DD) che tramite dei momenti di workshop. Questiultimi sono finalizzati all'analisi dei bisogni, alla condivisione delle informazioni tecniche, al dibattito sulle problematiche proprie dell'istituzione e sulle modalità organizzative per la gestione delle strutture, della sicurezza e la conservazione delle collezioni. Il workshop si può svolgere anche in momenti differenti proprio per rendere tutti gli operatori del museo partecipi degli avanzamenti e delle analisi in corso.
Durante il workshop si attiva un dibattito con diverse figure professionali interne ed esterne al museo. Per ciascuna istituzione sono invitati a partecipare diverse figure professionali esterne ed interne al museo: il direttore dell'istituzione, il responsabile della conservazione, il responsabile della sicurezza, i progettisti di riferimento (ove presenti), i rappresentanti delle società cui sono affidati i servizi esterni (imballaggio e trasporto, realizzazione di vetrine espositive, custodia diurna e notturna, manutenzione, ecc.). Il dibattito è inteso a:

- evidenziare le problematiche relative alla sicurezza (safety & security), le strutture e la gestione e cura delle collezioni che caratterizzano l'attività dell'istituzione;

- discutere le modalità organizzative dei temi sopra riportati;
- discutere le potenzialità ed i limiti delle tecnologie già presenti nella/e sede/i dell'istituzione;
- valutare la disponibilità dell'istituzione alla sperimentazione anche tecnologica.

Il CFR è l'elaborato più completo, costituito da una serie di schede e viene redatto grazie alle informazioni precedentemente raccolte.
È suddiviso in sezioni che indagano diversi aspetti della realtà museale tramite piante, simboli e fotografie – in una prima parte le strutture, gli spazi e i caratteri distributivi, la sicurezza, le dotazioni impiantistiche, gli allestimenti, la conservazione delle opere d'arte; in una seconda parte gli aspetti più prettamente gestionali legati alle figure professionali, le collezioni, la sicurezza, la manutenzione e la conduzione.
Per ogni sezione una parte è dedicata allo stato di fatto, mentre successivamente l'obiettivo e quello di mettere in evidenza la funzionalità e gestione delle dotazioni presenti, le eventuali criticità e gli strumenti per eventuali miglioramenti attraverso sia una gestione programmata che tramite attività sperimentali.
Le Aree di Indagine secondo il quale è suddivido sono indicate di seguito:

Parte A:

Informazioni generali
1.1 Scheda anagrafica
1.2 Numero visitatori e orari di apertura

Strutture, spazi e caratteri distributivi
2.1 Caratteri distributivi
2.2 Involucro edilizio
2.3 Spazi esterni
2.4 Spazi esterni al percorso espositivo
2.5 Spazi espositivi
2.6 Depositi

Dotazioni impiantistiche
3.1 Centrali energetiche
3.2 Impianti di climatizzazione
3.3 Impianti elettrici
3.4 Illuminazione generale
3.5 Impianti di trasporto
3.6 Impianti di comunicazione

Allestimenti
4.1.a Vetrine
4.1.b Pareti e divisori
4.1.c Accessori
4.1.d Illuminazione naturale
4.1.e Illuminazione artificiale
4.1.f Arredi per il pubblico/personale
4.1.g Supporti per l'informazione
4.1.h Aree di deposito
4.2 Vetrine e contenitori museali (Case Report)

Parte B:

Gestione amministrativa
5.1 Figure professionali
5.2 Imprese e professionisti di riferimento
5.3 Costi di esercizio
5.4 Consumi

Gestione delle collezioni
6.1 Conservazione preventiva
6.2 Movimentazioni
6.3 Prestiti

Gestione della sicurezza (safety e security)
7.1 Sicurezza delle dotazioni impiantistiche
7.2 Prevenzione incendio
7.3 Antintrusione, antifurto e antivandalismo
7.4 Sicurezza dell'ambiente di lavoro
7.5 Sicurezza strutturale e antisismica
7.6 Gestione e organizzazione dell'emergenza
7.7 Conduzione e manutenzione

Il CFR viene inoltre completato con un Executive Summary, in cui si evidenziano in sintesi le criticità, in modo da creare una lista di priorità di intervento che si adatti alle reali esigenze.
Sulla base delle informazioni raccolte è possibile anche compilare un Facility Report (R) per il prestito delle opere d'arte.
Un altro utilizzo che viene proposto, è quello del Registration Report (RR). Sulla base delle informazioni raccolte è infatti possibile compilare le schede di autovalutazione/valutazione relative alle strutture, alla sicurezza e la cura delle collezioni, connesse alle procedure di accreditamento previste dagli standard regionali.

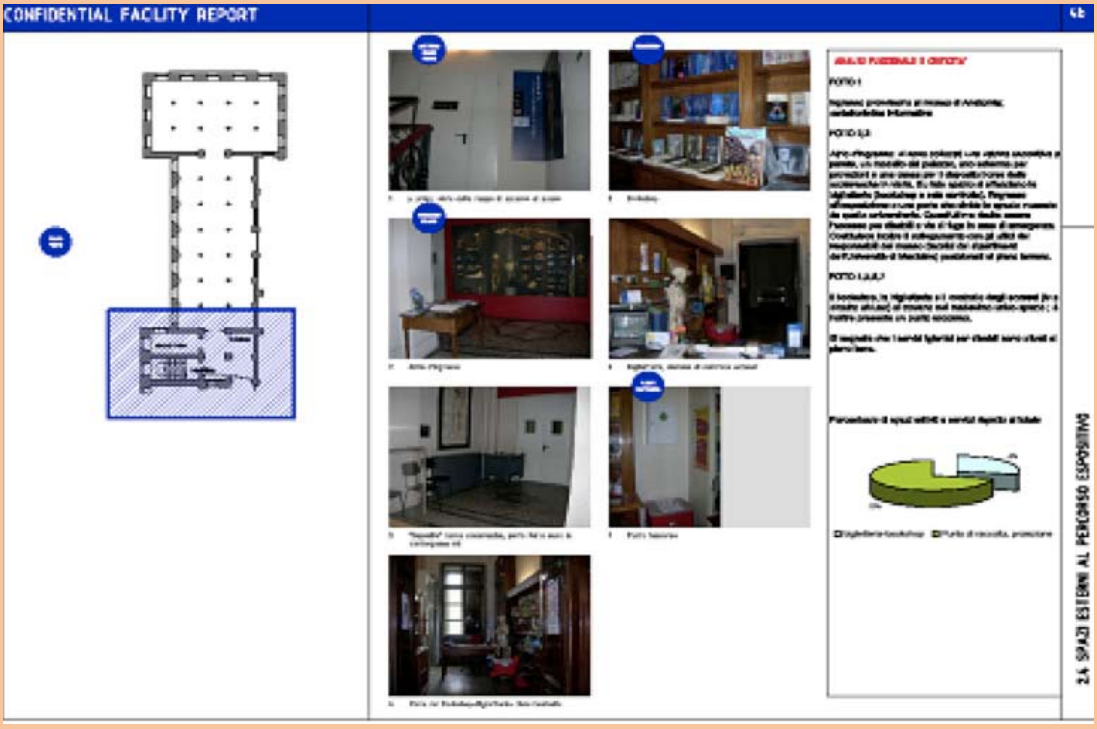


FIGURA 2: Esempi di schede di CFR - Analisi degli spazi esterni al percorso espositivo

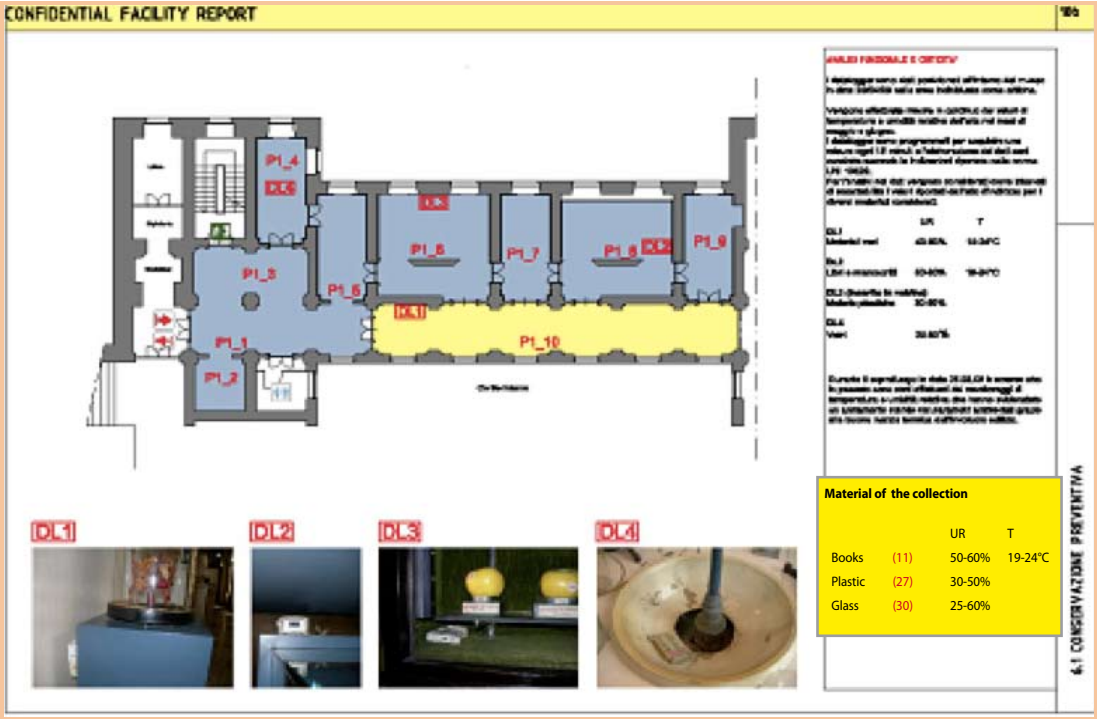


FIGURA 3: Esempi di schede di CFR - Cura delle collezioni e conservazione preventiva

Gli sviluppi futuri

In generale nei casi in cui l'istituto decida di intraprendere una riqualificazione, ad esempio degli spazi, degli allestimenti o anche degli impianti esistenti, e soprattutto in vista di un ottica di razionalizzazione degli investimenti, lo strumento potrà rivelarsi adatto per l'orientamento delle decisioni secondo una lista di priorità di intervento.
Un altro aspetto particolarmente sentito da chi si trova ad affrontare bilanci nel settore dei beni culturali è quello riguardante il risparmio energetico degli edifici; una sezione di indagine più approfondita potrebbe riguardare la raccolta di informazioni e dati per l'analisi energetica degli edifici, che ad oggi risulta ancora problematica a causa della difficoltà di reperimento dei dati.
Lo strumento del CFR ha raccolto nelle varie presentazioni giudizi estremamente positivi, soprattutto perché i testi sull'analisi dell'esistente e quelli sull'analisi funzionale sono spesso accompagnati da grafici e schemi di facile lettura per chiunque si approcci allo strumento; si ritiene allo stesso tempo che un ulteriore implementazione possa riguardare sia la razionalizzazione e informatizzazione della raccolta dati,

che l'estensione dell'applicabilità alle diverse tipologie di beni culturali come i complessi monumentali, i palazzi storici, le chiese, ma anche a quegli edifici non espressamente dedicati ad ospitare beni culturali come ad esempio ospedali, uffici, banche.

BIBLIOGRAFIA

1. D.M. 10 maggio 2001 Atto di indirizzo sui criteri tecnico- scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei
2. D.M. 10 maggio 2001, op. cit
3. A. M. Compagna, in Adelaide Maresca Compagna (a cura di), Strumenti di valutazione per Musei Italiani, esperienze a confronto, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Gangemi Editore, Roma, 2008. p. 27
4. A. Garlandini, Regione Lombardia, in A.M. Compagna (a cura di), op. cit., p. 283
5. G. Bonfante, M. Filippi, M. Rota, M. Vaudetti, "Standard Museali, Materiali per i musei, Strutture e Sicurezza, vol 2", Regione Piemonte & Centro Studi Piemontesi, Torino 2005, scaricabili dal sito: http://risorsebeniculturali.fitzcarraldo.it/risorsebeniculturali/standard-museali/pubblicazioni-standard

6. - 7. http://www.ne-mo.org/index.php? id=106

8. L. Marchetti, C. Rubino, "Il progetto di rilevazione negli insediamenti del Ministero" in A. M. Compagna, (a cura di), op. cit. pp. 261-267

Monitoraggio e indagine microclimatica in ambienti museali

Stefano Paolo Corgnati
Daniela Raimondo

Negli ultimi anni si sta assistendo ad una forte crescita d'interesse nei confronti delle problematiche di controllo climatico indoor nei musei ai fini della conservazione delle opere d'arte in essi custodite. Nel panorama italiano, la norma UNI 10829/99 "Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi", stabilisce le linee guida per il monitoraggio dei parametri microclimatici ai fini conservativi e definisce per i parametri stessi i valori considerati accettabili per opere costituite da differenti materiali. La norma prevede che l'analisi delle grandezze fisiche monitorate sia affrontata attraverso "la misurazione su base oraria per un periodo che consenta di raggiungere una conoscenza sufficientemente approfondita dell'andamento temporale dei valori delle grandezze stesse" (cfr. UNI 10829, par. 5.1).
L'approccio metodologico delineato dalla UNI 10829 è stato applicato nella pratica in occasione della mostra temporanea internazionale "Duccio. La nascita della pittura senese" presso Santa Maria della Scala a Siena (Italia), che ha avuto luogo da ottobre 2003 a marzo 2004 e che viene presentato in questo lavoro come caso di studio esemplificativo.
In occasione della mostra sono state messe in atto delle procedure preliminari (pre-mostra) di verifica e analisi delle prestazioni dell'impianto di climatizzazione nei vari regimi di funzionamento, della distribuzione dell'aria negli ambienti nel rispetto del lay-out espositivo e del rispetto dei parametri microclimatici.
Le procedure di verifica e monitoraggio sono state condotte nel periodo pre-mostra, attuate con un anticipo sufficientemente ampio da potere effettuare le indagini ed, eventualmente, operare modifiche migliorative in accordo con i responsabili dell'Istituzione Museale. Tali attività sono durate più di un anno e si sono dimostrate fondamentali per conoscere le reali prestazioni dell'impianto di climatizzazione (in termini di capacità di controllo climatico non solo previste a progetto ma anche, e soprattutto, con riferimento alle specifiche richieste dei conservatori e prestatori d'opera) e comprendere appieno le sue dinamiche di esercizio (tempi di risposta a variazioni di

carico termico endogeno ed esogeno) e di regolazione.
Il continuo controllo del funzionamento degli impianti e il monitoraggio microclimatico è poi proseguito nel periodo della mostra fino alla chiusura della stessa.

La norna UNI 10829 e la modalità di monitoraggio

La norma UNI 10829 prevede il monitoraggio dei parametri microclimatici ai fini conservativi, in particolare dei valori di temperatura e umidità relativa.
Il monitoraggio deve essere effettuato con una strumentazione adatta a misurare in continuo le grandezze termoigrometriche: essa è tipicamente costituita da micro-acquisitori tipo Data-Logger, oggi anche di tipo wireless, opportunamente collocati in punti di misura significativi.
Gli acquisitori sono usualmente programmati per il rilievo delle grandezze con una scansione temporale di 15 minuti.
A partire dalla media oraria dei valori misurati di temperatura (T) e umidità relativa (UR) dell'aria, si ricavano relativamente al periodo esaminato e per ciascuna delle grandezze misurate:

- i valori massimo, minimo, medio e deviazione standard;
- i profili temporali;
- la distribuzione in frequenza e la frequenza cumulata.

Elaborando i dati acquisiti, si determinano inoltre per le grandezze oggetto di analisi:

- i valori massimo, minimo, medio e deviazione standard dei gradienti orari (ΔTh, ΔURh);
- i valori massimo, minimo, medio e deviazione standard dei gradienti giornalieri (ΔTg, ΔURg).

La frequenza cumulata di una grandezza, riferita allo specifico periodo di rilevazione, associa ad ogni valore della grandezza considerata la percentuale di tempo in cui la media oraria della grandezza stessa risulta inferiore al valore considerato. A partire dalle elaborazioni in termini di frequenza cumulata è possibile definire gli indici di scostamento relativi alle condizioni microclimatiche ritenute "accettabili". L'indice di scostamento (IS) di una grandezza è "la percentuale di tempo in cui la grandezza in esame si mantiene al di fuori del campo prescelto ritenuto accettabile" (cfr. UNI 10829, par. 8). Un sistema di climatizzazione perfettamente funzionante secondo le specifiche di progetto/esercizio fornirà un indice di scostamento pari allo 0%. Il complemento a 1 dell'indice di scostamento è l'indice di prestazione (PI) (performance index).

Esempi di diagrammi e indici saranno presentati nei paragrafi seguenti.
La definizione di "campo accettabile" è strettamente correlata alle tipologie di materiali che costituiscono l'oggetto esposto. I campi di accettabilità sono fissati ad hoc in base ad indicazioni mirate del responsabile della conservazione. L'Appendice A della norma UNI 10829 fornisce altresì degli utili valori di riferimento.
A titolo di esempio, con riferimento a tipologie di opere in esposizione nella Mostra di Duccio da Buoninsegna, la norma UNI 10829 definisce i campi di accettabilità di tabella 1.

TABELLA 1 - Campo di accettabilità di temperatura e umidità relativa per la norma UNI 10829

Bene di interesse storico artistico	Temperatura dell'aria [°C]	Variazione di temperatura massima giornaliera [°C]	Umidità relativa dell'aria [%]	Variazione di umidità relativa massima giornaliera [%]
[…], legno dipinto, pitture su legno, icone, […]	19-24	1,5	50-60	4

L'indagine microclimatica: il caso del Santa Maria della Scala a Siena

Si presenterà qui di seguito l'esperienza di indagine microclimatica condotta presso il complesso museale di Santa Maria della Scala a Siena per la mostra "Duccio. La nascita della pittura senese", che rappresenta un caso di studio significativo per mettere in luce gli aspetti procedurali prima introdotti.
L'attività condotta ha riguardato, in serie cronologica, i seguenti aspetti:

- verifica preliminare degli elaborati progettuali;
- studio CFD (Computational Fluid Dynamics) sulla distribuzione dell'aria in ambiente;
- monitoraggio microclimatico pre-mostra nella stagione di riscaldamento;
- monitoraggio microclimatico pre-mostra nella stagione di raffrescamento;
- monitoraggio microclimatico durante la mostra temporanea.

I predetti aspetti saranno trattati nei seguenti paragrafi.
Tutta l'attività condotta nel periodo pre-mostra, specialmente la lunga fase di premonitoraggio, è risultata fondamentale per individuare le mi-

gliori condizioni e gli idonei parametri di funzionamento degli impianti di climatizzazione in regime di riscaldamento/raffrescamento per il mantenimento durante la mostra dei desiderati valori delle grandezze termoigrometriche ai fini della conservazione delle opere.

Esame degli elaborati progettuali

La prima attività condotta ha riguardato l'esame degli elaborati progettuali al fine di evidenziare eventuali possibili miglioramenti per il sistema edificio-impianto di climatizzazione.
Relativamente al controllo climatico, i locali che hanno ospitato la mostra di Duccio da Buoninsegna in Santa Maria della Scala a Siena sono serviti da un sistema di climatizzazione di tipo misto con pavimento radiante e aria primaria.
Il progetto iniziale prevedeva l'impiego del pavimento radiante per il solo riscaldamento invernale. Si è poi deciso di estenderne l'utilizzo anche al raffrescamento estivo.
Il controllo della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria è demandato all'azione integrata del pavimento radiante (caldo in inverno e freddo in estate) e della portata di aria primaria. Il pavimento radiante bilancia i carichi termici sensibili, mentre l'aria primaria, opportunamente trattata in temperatura e umidità, bilancia i carichi termici latenti e gli eventuali carichi termici sensibili non controllati dal pavimento radiante.
Secondo quanto previsto in sede di progetto, il sistema impiantistico consente il controllo delle grandezze termoigrometriche nei seguenti intervalli:

- temperatura dell'aria estiva 25 ± 2 °C
- temperatura dell'aria invernale 20 ± 2°C
- umidità relativa dell'aria estiva 50 ± 5 %
- umidità relativa dell'aria invernale 45 ± 5 %

È evidente che i predetti valori sono assolutamente congruenti con le richieste termoigrometriche di ambienti occupati da persone, tuttavia possono essere non totalmente compatibili con le esigenze di controllo climatico di un ambiente museale.
Si è in particolare da subito evidenziata una limitata potenzialità di umidificazione del sistema nel periodo invernale, ciò confermato dal monitoraggio nella stagione di riscaldamento. Si è quindi stabilito da subito di prevedere un incremento della capacità di umidificazione dell'impianto, in modo da consentire il controllo dell'umidità relativa con valore di set–point fino a 55%, sia in periodo estivo che in periodo invernale, in modo da cautelarsi sulle possibili richieste di controllo dell'umidità relativa dei prestatori d'opera.

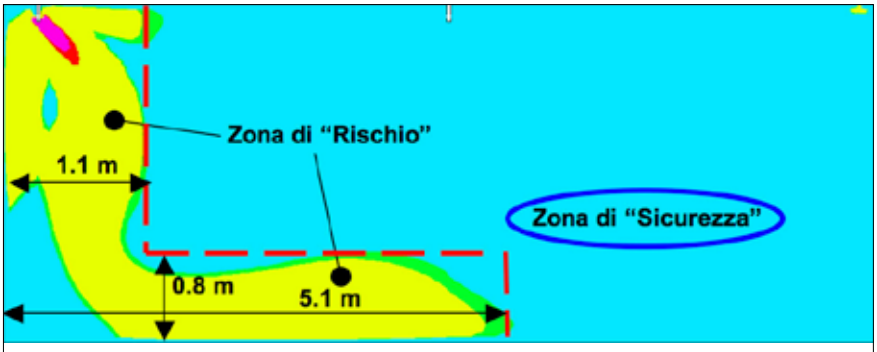
Si è inoltre definita la necessità di applicare delle schermature esterne sulle pareti vetrate al fine di limitare gli apporti solari, particolarmente significativi già a partire dalle mezze stagioni.
Infine si è constata la necessità di un approfondimento sulle modalità di distribuzione dell'aria in ambiente da parte delle bocchette di immissione/estrazione. Questa attività è descritta nel dettaglio nel prossimo paragrafo.

Studio CFD sulla distribuzione dell'aria in ambiente

Lo studio della distribuzione dell'aria in ambiente si è reso necessario al fine di verificare se con la configurazione scelta per l'immissione/estrazione dell'aria in ambiente potessero insorgere problemi di correnti d'aria sulle opere e, in caso affermativo, guidare la scelta a soluzioni migliorative sia in termini di tipologia di bocchette di immissione dell'aria sia di distribuzione del lay-out espositivo.
A tal fine è stato quindi condotto uno studio di fluidodinamica computazionale (non essendo allora ancora realizzato l'impianto di ventilazione) per individuare la migliore soluzione tra una serie di bocchette esaminate.
Il modello numerico CFD adottato è stato validato mediante i risultati di una campagna di misure condotta con immissione in ambiente di getto isotermo. La simulazione numerica si è quindi estesa all'analisi del getto in condizioni non isoterme, immesso cioè a temperatura più elevata (situazione invernale) e più bassa (situazione estiva) di quella ambiente, al fine di individuare eventuali zone "critiche" per la presenza di opere all'interno del locale.
Relativamente al sistema di distribuzione di aria in ambiente, l'immissione dell'aria primaria avviene attraverso bocchette lineari munite di deflettori metallici, poste a soffitto e posizionate ad una distanza di circa 30 cm dalla parete laterale. I deflettori metallici sono installati per indirizzare il lancio del getto e permetterne quindi una sua più efficace diffusione in ambiente, ciò al fine di limitare l'effetto parete subito dal getto immesso.
L'estrazione dell'aria viziata avviene attraverso bocchette lineari localizzate a soffitto lungo la parete opposta rispetto a quella presso la quale avviene l'immissione.
Dall'analisi effettuata è stato possibile dedurre significative informazioni a supporto della definizione di lay-out di allestimento ottimizzati per il mantenimento delle condizioni microclimatiche più idonee alla conservazione delle opere.
I risultati ottenuti hanno permesso, in particolare, di individuare la zona all'interno del locale nella quale è consigliabile non posizionare le opere e/o prevedere punti di stazionamento delle persone. In tale regione,

denominata la "Zona di Rischio" (figura 1), si registrano infatti livelli di velocità e/o temperatura dell'aria stabilite come "non accettabili" per la conservazione delle opere e/o per il benessere delle persone (v>0.20 m/s e $|T\text{-}T_{set\text{-}point}| > 1°C$).
Alla luce delle risultanze delle simulazioni condotte è risultato non opportuno prevedere il posizionamento delle opere esposte (figura 1):

- in prossimità della parete laterale lato bocchetta di immissione per una fascia di larghezza pari a circa 1.1 m
- ad altezze inferiori a 0.8 m per una fascia di larghezza pari a circa 5 m dalla parete laterale lato bocchetta di immissione.



Zona di "Rischio": zona in cui i livellidi velocità e/o temperatura dovuti alla caduta del getto sono tali da determinare condizioni microclimatiche in condizioni stazionarie *non accettabili* per la conservazione delle opere e/o per la presenza di persone (v>0,25 m/s e $T\text{-}T_{set\ point} > 1°C$)

FIGURA 1 - Studio CFD per la definizione della zona di "Rischio" nella condizione di funzionamento più critica (raffrescamento estivo)

Pre-monitoraggio microclimatico di lungo periodo nella stagione di riscaldamento

Ad avvenuta realizzazione degli impianti di climatizzazione è cominciata l'attività di monitoraggio pre-mostra.
La prima fase di questa attività, iniziata nel mese di dicembre 2002 e conclusasi alla fine del mese di aprile 2003, ha avuto come finalità quella di verificare l'adeguato funzionamento in configurazione di riscaldamento degli impianti preposti alla climatizzazione dei locali e di ottimizzarne le strategie di controllo in termini di settaggi e regolazioni degli impianti stessi.
Parallelamente è iniziata una capillare raccolta di informazioni nei con-

fronti dei prestatori sulle condizioni microclimatiche desiderate per un'ottima conservazione delle loro opere, ciò al fine di verificare la capacità del sistema impiantistico a mantenere le condizioni ambientali richieste.

La campagna di monitoraggio delle grandezze termoigrometriche all'interno dei locali destinati ad ospitare la mostra di Duccio da Buoninsegna, condotta mediante l'impiego di 15 acquisitori di tipo microdatalogger, ha riguardato la misura della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria negli ambienti. Sono state inoltre monitorate la temperatura e l'umidità relativa dell'aria in corrispondenza delle bocchette di mandata e ripresa dell'impianto di ventilazione ad aria primaria. A titolo di esempio, si riportano alcuni dei risultati delle elaborazioni sulle misurazioni condotte dal 25 al 28 di marzo (in figura 2, funzionamento in configurazione invernale degli impianti) in uno dei punti di misura presso le sale espositive del livello +6 di Santa Maria della Scala.

Si può apprezzare un controllo delle grandezze termoigrometriche in intervalli piuttosto stretti (circa 2°C sul valore di temperatura e circa 5% sul valore di umidità relativa), risultato estremamente positivo in ambienti museali in cui le fluttuazioni delle grandezze ambientali devono essere minime. Tuttavia i valori di temperatura ambiente risultano troppo bassi (questo problema è stato facilmente risolto ritoccando i settaggi degli impianti) così come i valori di umidità relativa. Per ovviare a quest'ultimo aspetto è stato invece necessario procedere, come già accennato, ad un potenziamento delle batterie di umidificazione, soprattutto alla luce delle richieste dei prestatori d'opera, tutti concordi nell'esigere umidità relative al di sopra del 50%.

	UR [%]	T [°C]
Media	42	18.1
dev.st	1	0.6
Min	39	17.0
Max	45	19.4

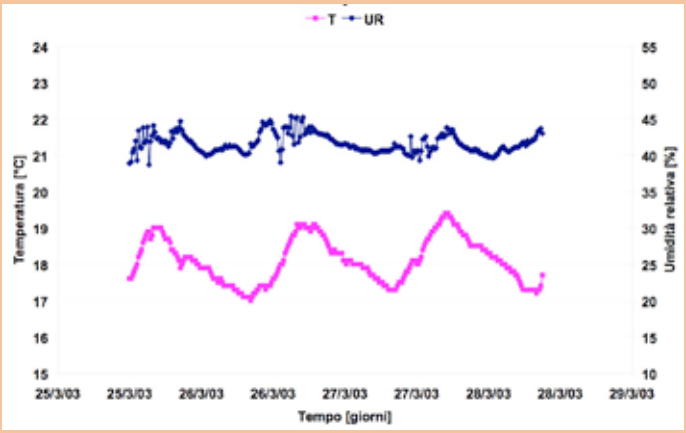
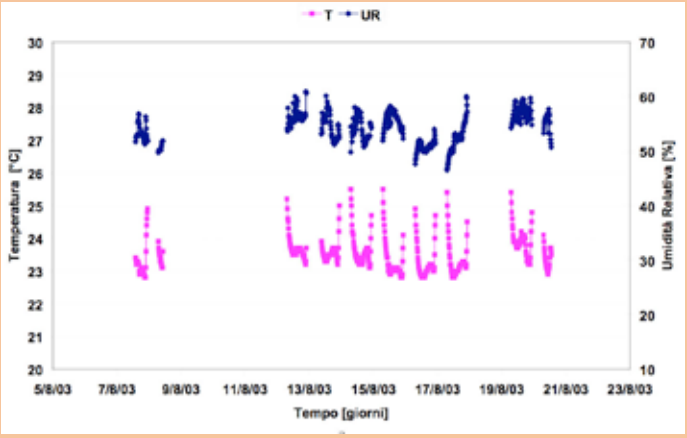


FIGURA 2 - Pre-monitoraggio invernale: Profili di temperatura e umidità relativa dell'aria.

Pre-monitoraggio microclimatico di lungo periodo nella stagione di raffrescamento

Analogamente a quanto effettuato in periodo invernale, è stato attivato, a partire dal mese di maggio e fino a settembre 2003, il monitoraggio che ha avuto come obiettivo la verifica degli impianti di climatizzazione in funzionamento estivo e, come nel periodo invernale, l'ottimizzazione delle loro strategie di controllo in termini di settaggi e regolazioni.
A titolo di esempio, si riportano in figura 3 alcuni dei risultati delle elaborazioni effettuate sulle misurazioni condotte dal 7 al 21 agosto 2003 nello stesso punto di campionamento di figura 2. Si precisa che, al fine di limitare i consumi energetici, e i conseguenti costi, l'impianto di climatizzazione era attivato solo in periodo diurno.



	UR [%]	T [°C]
Media	54	23,5
dev.st	3	0,5
Min	47	22,8
Max	61	25,5

FIGURA 3 – Pre-monitoraggio estivo: Profili di temperatura e umidità relativa dell'aria

Campagna di misure "spot" nella stagione di raffrescamento in campo con simulatori di carichi endogeni sensibili

Nel mese di agosto 2003, è stata condotta una campagna di misure per la mappatura dei parametri microclimatici all'interno di una sala espositiva tipo (è stato scelto il locale 7.40 al livello +7) tra quelle destinate ad ospitare la mostra di Duccio da Buoninsegna presso Santa Maria della Scala in Siena, simulando la presenza dei carichi termici endogeni interni al locale. La campagna di misure ha avuto come oggetto il monitoraggio di temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria ambiente.
I risultati di seguito riportati si riferiscono al giorno 6 agosto 2003, che

si è dimostrato estremamente critico dal punto di vista della condizioni climatiche esterne: la campagna di misure è risultata quindi significativa a verificare il mantenimento delle previste condizioni termoigrometriche ambientali in presenza di condizioni climatiche esterne gravose e concordi a quelle di progetto estivo per Siena. Oltre ai carichi termici esogeni dovuti alle condizioni climatiche esterne, le misure sono state condotte simulando i carichi termici endogeni (luci e persone) di entità concorde a quanto previsto a progetto.
Durante le prove l'impianto di climatizzazione lavorava in configurazione estiva con pannelli radianti freddi a pavimento e aria primaria. Il contributo dei pannelli radianti è risultato tuttavia estremamente contenuto (concordemente con quanto previsto a progetto originale) in quanto l'intera superficie del pavimento era rivestita, a scopo di protezione del parquet, con uno strato di "tessuto non tessuto" .
Il carico termico endogeno sensibile è stato simulato mediante 10 stufette elettriche dotate di ventilatore per forzare l'aria sulla batteria riscaldante. Ogni stufetta presentava due condizioni di funzionamento con potenza termica emessa pari a 1,2 kW e 2 kW. Il carico termico sensibile così simulato era paragonabile a quello previsto a progetto.
Non è stato simulato il carico termico endogeno latente.
I punti in cui sono stati posizionati i datalogger e i simulatori di carico (stufette) all'interno del locale 7.40 sono rappresentati in figura 4. Negli stessi punti nei quali sono stati collocati gli acquisitori tipo datalogger (posti ad una altezza dal pavimento di 1 m) sono state effettuate anche le misure di velocità dell'aria.
La temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria sono state anche

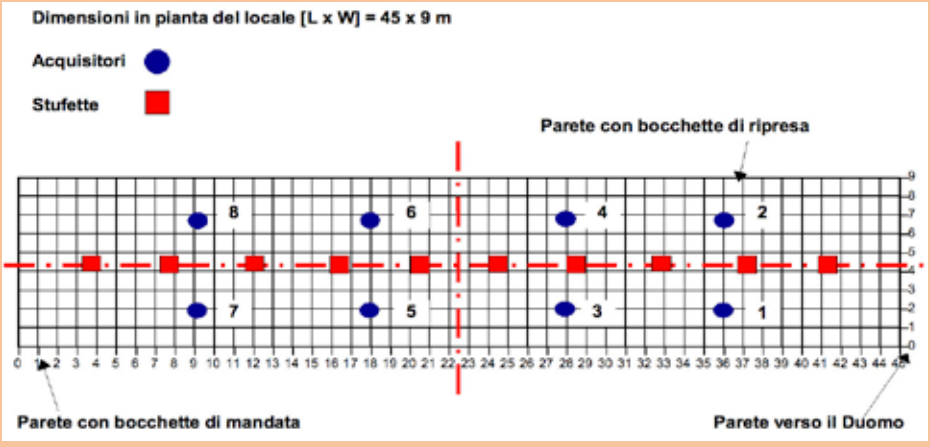
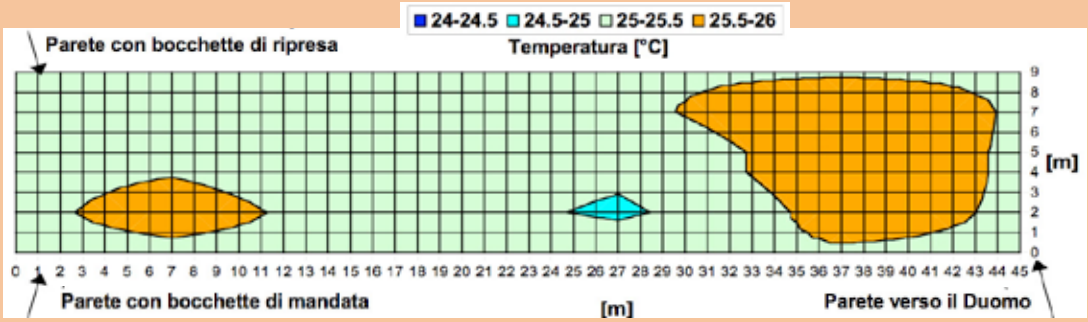


FIGURA 4 – Collocazione degli acquisitori e delle stufette all'interno del locale campione

misurate nei pressi delle bocchette di mandata e ripresa dell'aria (a tre diverse altezze: 1 m dal pavimento, 2 m dal pavimento e a 10 cm dalle bocchette) ad una distanza di circa 30 cm dalla parete.
Nelle figure 5, 6 e 7 sono riportate le mappature dei valori medi sul periodo di misura (dalle ore 9.00 alle ore 13.30) delle grandezze microclimatiche esaminate. In figura 8, sono riportate le distribuzioni in frequenza e le frequenze cumulate della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria sul periodo di campionamento. Dai risultati emerge una buona uniformità, sia nello spazio che nel tempo, della temperatura così come dell'umidità relativa dell'aria.



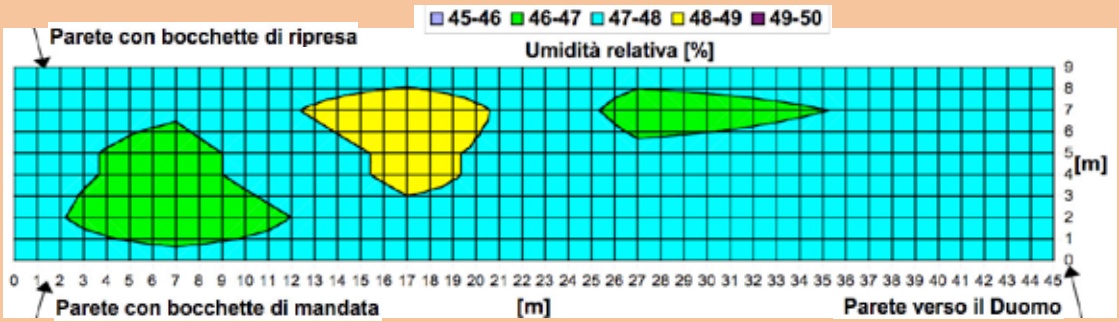


FIGURA 5 - Campi di temperatura ad una altezza pari a 1 m dal pavimento nel locale campione
FIGURA 6 - Campi di umidità relativa ad una altezza pari a 1 m dal pavimento nel locale campione

La velocità dell'aria si mantiene a valori estremamente contenuti (al di sotto di 0.1 m/s) nella quasi totalità dello spazio monitorato; solo nella zona adiacente alla parete in prossimità delle bocchette di mandata la velocità assume valori più elevati, fino a 0.48 m/s, ma a 1 m dalla parete la velocità dell'aria è già discesa sotto 0.1 m/s.
La campagna di misura condotta, effettuta in condizioni climatiche esterne gravose ed in presenza di carichi endogeni di entità adeguata, ha permesso di evidenziare come l'impianto di condizionamento, anche in

assenza del contributo raffrescante del pavimento radiante, risulti in grado di controllare la temperatura e l'umidità relativa dell'aria entro i valori previsti a progetto.

Figura 7

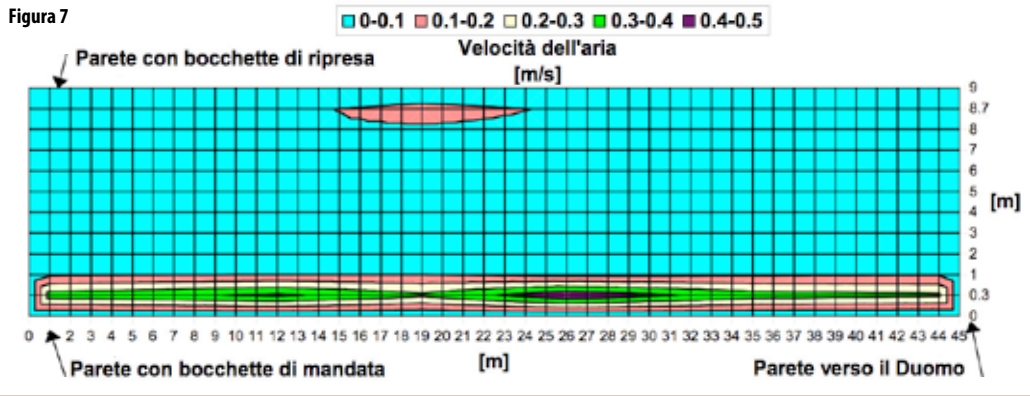


Figura8

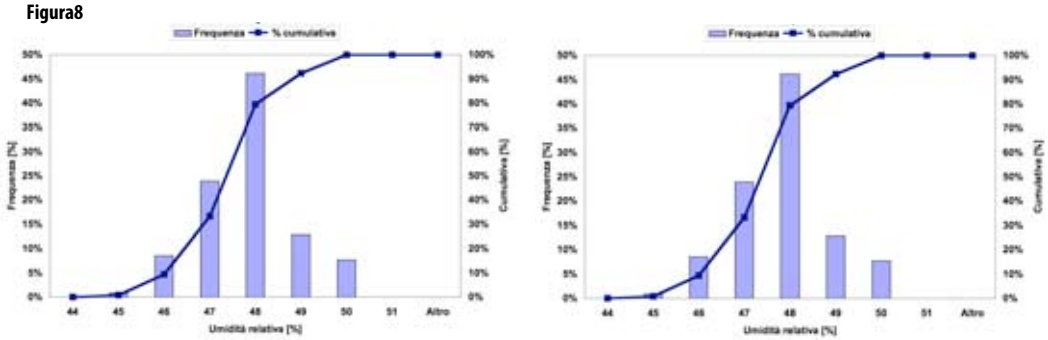


FIGURA 7 - Campi di umidità relativa ad un'altezza pari a 1m dal pavimento nel locale campione

FIGURA 8 - Distribuzione in frequenza e frequenza cumulata dei valori di temperatura e umidità relativa dell'aria registrati durante la campagna di misura dagli acquisitori

Monitoraggio microclimatico durante la mostra temporanea

Con l'apertura della mostra si è proseguito il monitoraggio dei parametri termoigrometrici all'interno degli ambienti espositivi di Santa Maria della Scala, al fine di garantire i valori di temperatura e umidità relativa richiesti dalla norma UNI 10829 e necessari per la conservazione delle opere.
I datalogger sono stati scaricati giornalmente dal personale tecnico del complesso di Santa Maria della Scala, in modo da verificare tempestivamente le eventuali criticità. I dati sono stati poi elaborati con frequenza settimanale secondo quanto previsto dalla norma UNI 10829.
I locali oggetto dello studio sono stati quelli appartenenti al livello +6

ed al livello +7 del complesso museale. Sono stati posizionati 6 datalogger al livello +6, 10 datalogger al livello +7 ed 1 datalogger è stato posto nella corte interna, per monitorare temperatura e umidità relativa dell'aria esterna. Il percorso museale si sviluppava su un'area totale di 1560 m^2, divisa su due differenti livelli: l'area espositiva A, collocata al livello +6 (580 m^2), era composta da 4 stanze, mentre l'area espositiva B, al livello +7 (880 m^2), comprendeva 6 sale.

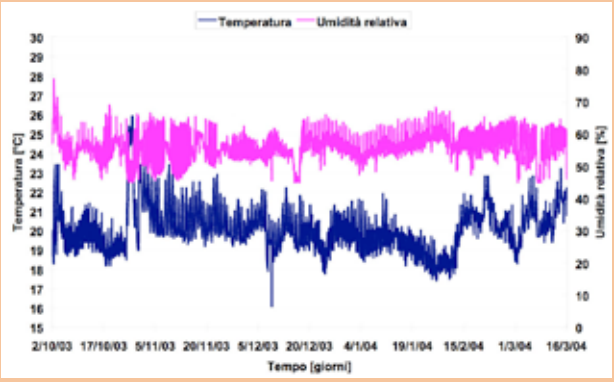
TABELLA 2: Intervalli di accettabilità considerati nella valutazione del Performance Index.

	T [°C]	RH [%]	Δdaily T [°C]	Δdaily RH [%]
PI	19÷22	50÷60	≤ 2°C	≤ 4%

La campagna di monitoraggio è stata svolta posizionando sensori in ogni sala espositiva, raccogliendo i valori di temperatura (T) e umidità relativa (UR) con un sistema di acquisizione centrale per l'intero edificio, e utilizzando micro datalogger per monitorare accuratamente le condizioni microclimatiche in prossimità delle più critiche opere d'arte in termini di rischio per la conservazione. Tutti i sensori dovevano presentare i seguenti requisiti minimi di incertezza nominale nelle misurazioni:

- per la temperatura dell'aria: ±0.2 ° C
- per l'umidità relativa: ±3%.

A titolo di esempio si riportano in figura 9 i risultati del monitoraggio effettuato per tutto il periodo di apertura della mostra per il datalogger 4, posto al livello +6 e ritenuto rappresentativo dei diversi punti di misura.



	UR [%]	T [°C]
Media	56	20,1
dev.st	4	1,1
Min	45	16,1
Max	77	25,9

FIGURA 9 - Andamenti di temperatura umidità relativa durante tutto il periodo espositivo (datalogger 4)

Come previsto dalla norma UNI 10829 in figura 10 e 11 sono presentati gli andamenti in frequenza e frequenza cumulata di temperatura e umidità relativa e i relativi indici di scostamento (per il datalogger 4). In tabella 3, sempre per il datalogger 4, relativamente al mese di novembre 2003, sono riportate l'analisi statistica, le distribuzioni in frequenza e l'indice di scostamento dall'intervallo di accettabilità (riportato in tabella 2) per i valori medi orari e giornalieri di temperatura e umidità relativa così come previsto dalla norma UNI 10829. Analoghe elaborazioni sono state condotte per tutti i datalogger in campo con cadenza mensile.

Figura 10

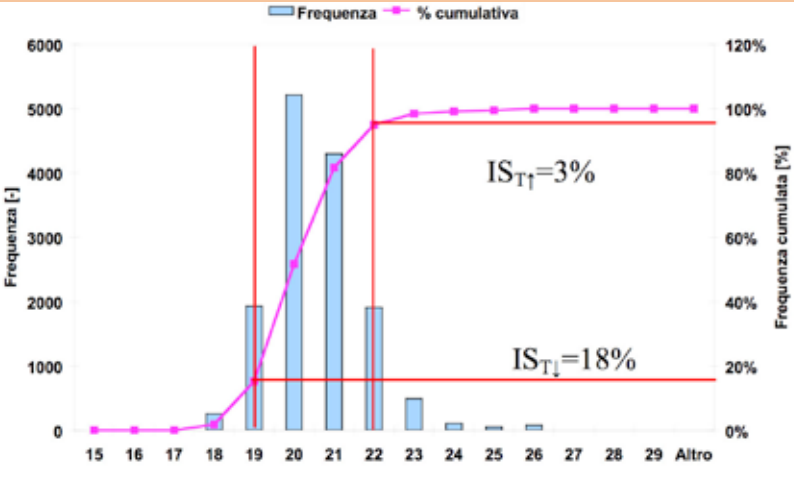


Figura 11

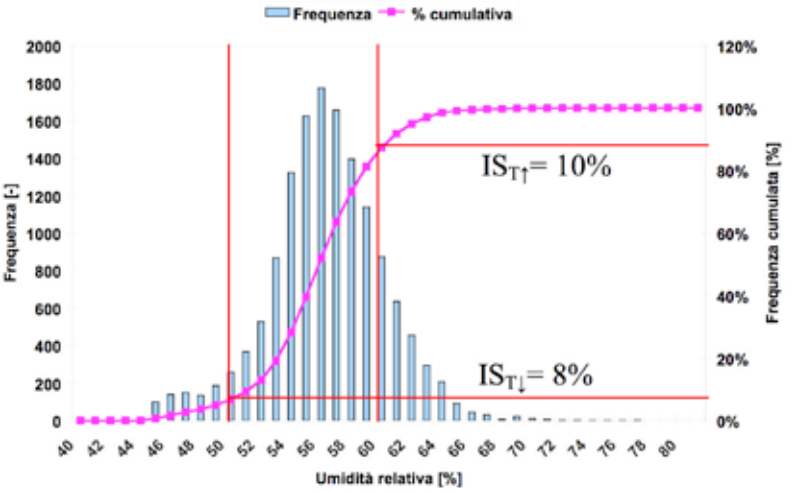


FIGURA 10 - Distribuzioni in frequenza di temperatura durante tutto il periodo espositivo
FIGURA 11- Distribuzioni in frequenza di umidità relativa durante tutto il periodo espositivo

TABELLA 3 – Analisi statistica dei dati misurati secondo la norma UNI 10829 (datalogger 4, mese di Novembre)

Punto di misura Datalogger 4 – Novembre 2003

Analisi statistica

DL 4	UR [%]	T [°C]	ΔURh [%]	ΔTh [°C]	ΔURg [%]	ΔTg [°C]
Media	55	20,8	1	0,2	1	0,3
Dev.St	4	1,0	1	0,2	1	0,2
Min	46	19,3	0	0,0	0	0,0
Max	66	23,4	7	1,3	4	0,7

Distribuzioni in frequenza e indice di scostamento di UR e T

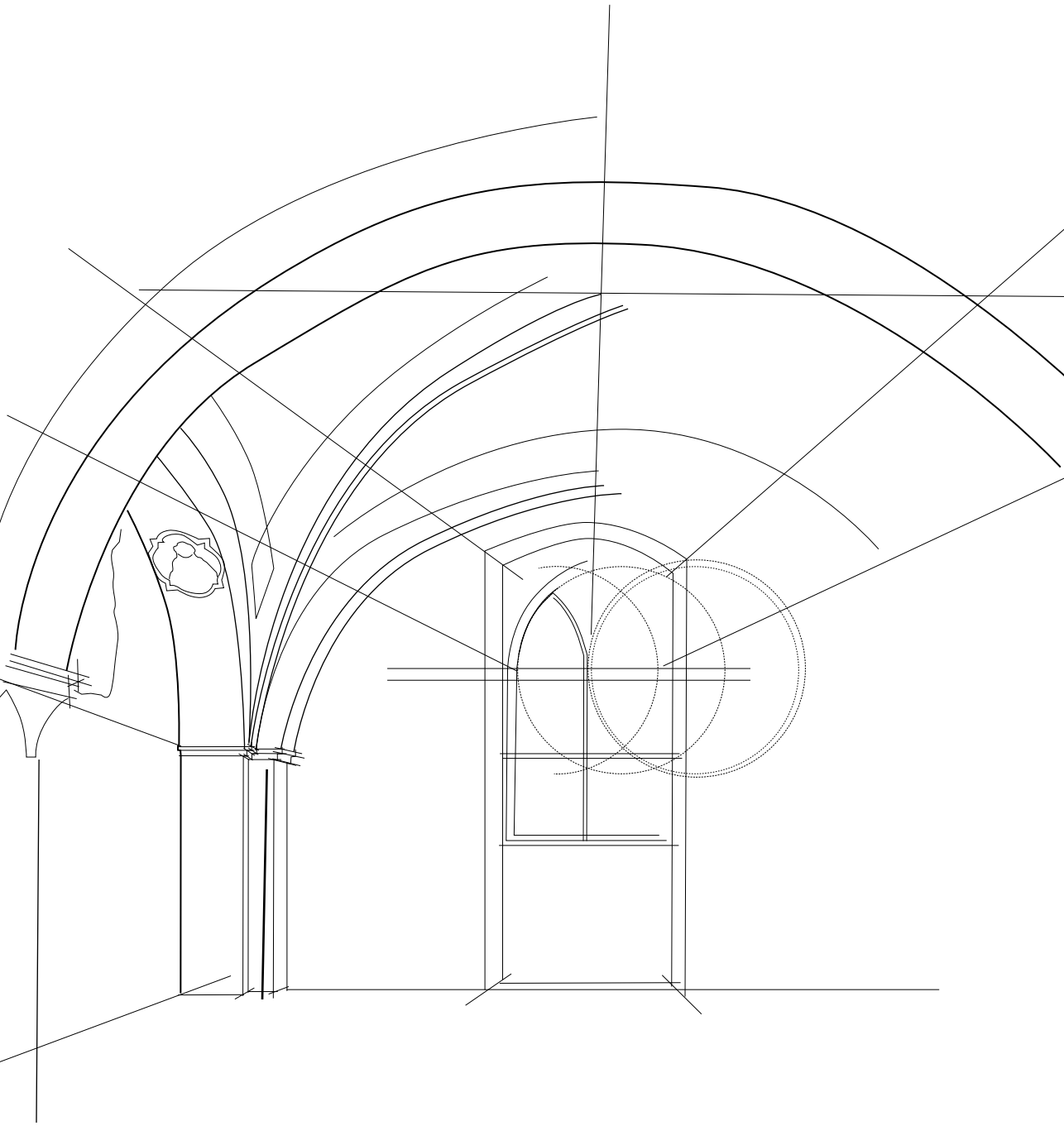
Classe UR [%]	*Frequenza*	*% cumulativa*	*Classe T [°C]*	*Frequenza*	*% cumulativa*
40	0	,00%	15	0	,00%
42	0	,00%	16	0	,00%
44	0	,00%	17	0	,00%
46	0	,00%	18	0	,00%
48	0	,00%	19	0	,00%
50	1	,14%	**20**	**227**	**31,53%**
52	**64**	**9,03%**	**21**	**221**	**62,22%**
54	**207**	**37,78%**	**22**	**177**	**86,81%**
56	**253**	**72,92%**	**23**	**83**	**98,33%**
58	**149**	**93,61%**	**24**	**12**	**100,00%**
60	**39**	**99,03%**	25	0	100,00%
62	7	100,00%	26	0	100,00%
64	0	100,00%	27	0	100,00%
66	0	100,00%	28	0	100,00%
68	0	100,00%	29	0	100,00%
70	0	100,00%	30	0	100,00%
72	0	100,00%	Altro	0	100,00%
				Indice di scostamento	**0,0%**
74	0	100,00%			
76	0	100,00%			
78	0	100,00%			
80	0	100,00%			
Altro	0	100,00%			
	Indice di scostamento	**1,1%**			

Distribuzioni in frequenza e indice di scostamento di ΔURg e ΔTg

Classe ΔURg [%]	*Frequenza*	*% cumulativa*	*Classe ΔTg [°C]*	*Frequenza*	*% cumulativa*
4,0	**29**	**100,00%**	**1,5**	**29**	**100,00%**
6,0	0	100,00%	2,5	0	100,00%
8,0	0	100,00%	5	0	100,00%
Altro	0	100,00%	Altro	0	100,00%
	Indice di scostamento	**0,0%**		**Indice di scostamento**	**0,0%**

Bibliografia

1. Chicora Foundation, 1994, Managing the Museum Environment, on-line publication, http://palimpsest.stanford.edu
2. Filippi, M., 1987, Gli impianti nei musei, CDA Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrifgerazione, vol. 8, n. 31, pp. 965-984
3. Filippi, M., 1997, Air conditioning of work of art, Bullettin of the International Institute of Refrigeration, vol vol. 76, n. 97-3, pp. 3-15
4. Filippi, M., Mutani, G., Perino, M., 2001, Field Monitoring Of The Indoor Environmnet In Museum: A procedural Approach For Data Processing, Proceedings of 7th Rehva World Congress – Clima 2000, 15-18 September 2001, Napoli, Italy
5. Filippi M., Corgnati S.P., Perino M., A new approach for the IEQ (Indoor Environment Quality) assessment, Research in Building Physics and Building Engineering, Proceeding of 3rd International Conference on Research in Building Physics IBPC 2006, Montreal, August 2006.Stolow, N., 1987, Conservation and Exhibitions, Butterwhorts, London, Great Britain
6. Thompson, J., 1992, Manual of curatorship 2nd edition, Butterworth Heinenmann, Oxford, Great Britain
7. Thomson G., The museum environment, Buttherworths, London, 1986, pp. 66 -124
8. UNI 10829, 1999, Beni di interesse storico ed artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misura ed analisi. Milano, Italy
9. La Gennusa M., Rizzo G., Scaccianoce G., Nicoletti F., Control of indoor environments in heritage buildings: experimental measurements in an old Italian museum and proposal of a methodology, Journal of Cultural Heritage, Volume 6, No. 2, 2005, pp. 147 - 155
10. CEN European Committee for Standardisation, Indoor environmental parameters for assessment of energy performance of buildings, addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Standard EN15251, 2007
11 Ministero per i beni e le attività culturali, D.M. 10.5.2001 Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei, Italian Minister Degree G.U. n.238, 19.10.2001
12. Camuffo D., Bernardi A., Sturaro G., Valentino A., The microclimate inside the Pollaiolo and Botticelli rooms in the Uffizi Gallery, Florence, Journal of Cultural Heritage, Volume 3, No. 2, 2002, pp. 155 - 161
13. Filippi M., Corgnati S., Ansaldi R., Certification of indoor environmental quality: application of a classification method to a case study, Proceeding of CLIMAMED 2006 International Conference, Lyon, September 2006.



Il controllo del microclima nelle vetrine museali

Chiara Bonvicini
Marco Perino

L'utilizzo di vetrine museali è in genere determinato da tre diverse esigenze:

1 sicurezza - intesa come protezione delle opere conservate da azioni intenzionali[1] o non intenzionali[2] e da incendi
2 allestimento - ovvero l'insieme delle azioni per valorizzare e dare enfasi all'oggetto esposto
3 microclima - inteso come controllo della temperatura e dell'umidità relativa (sia in termini di valori assoluti che di gradienti temporali), delle concentrazioni di inquinanti gassosi ed aerosospesi, dei livelli di esposizione a radiazioni elettromagnetiche (radiazioni UV, IR e visibili).

Tradizionalmente e storicamente i primi due obiettivi sono quelli che hanno maggiormente pesato nella decisione di adottare vetrine all'interno delle strutture museali. Tuttavia, si è ben presto realizzato come una vetrina espositiva correttamente progettata e costruita possa anche consentire un soddisfacente ed efficace controllo del microclima a fini conservativi. Con l'evolversi della tecnologia, sia in relazione ai materiali che alle chiusure ed ai materiali tampone, le possibilità di sviluppare un adeguato controllo microclimatico a livello di contenitore espositivo ha spinto sempre più verso l'impiego di vetrine museali con il fine primario di migliorare la conservazione preventiva degli oggetti esposti. I requisiti base che deve soddisfare il sistema vetrina sono rappresentati dal controllo del flusso di radiazione elettromagnetica, dai valori assoluti della concentrazione degli inquinanti potenzialmente dannosi, dalla temperatura e dall'umidità relativa e dalle variazioni nel tempo di queste ultime due grandezze.

Principi di controllo del microclima nelle vetrine museali

Una vetrina, o più in generale un qualunque contenitore museale, consente la creazione di uno spazio confinato separato dall'ambiente esterno attraverso un "involucro".
L'involucro ha non solo la finalità di delimitare "geometrica-

mente" l'ambiente controllato, ma anche la funzione di disaccoppiare, in certa misura, il comportamento dell'ambiente controllato da quello dell'ambiente della sala espositiva.
Nel caso specifico delle vetrine museali l'ambiente controllato (o microambiente) è generalmente inserito all'interno di un altro spazio confinato più o meno controllato (o macroambiente), separato a sua volta dall'ambiente esterno mediante un involucro edilizio.
Il controllo del microclima all'interno di una vetrina museale avviene operando su tre diversi livelli:

A) controllo di frontiera

B) controllo passivo

C) controllo attivo.

Controllo di frontiera
Con il termine di "controllo di frontiera" si intende l'effetto che l'involucro, il "contenitore", esercita per mantenere l'ambiente interno nelle condizioni desiderate, indipendentemente dal comportamento e dalle condizioni dell'ambiente esterno. Esso rappresenta il primo livello attraverso cui è possibile gestire i parametri microclimatici all'interno della vetrina.
Teoricamente un involucro ideale potrebbe essere in grado di mantenere, di per se e senza l'uso di sistemi aggiuntivi ("passivi" ed "attivi", capaci di modificare attraverso un'azione specifica le variabili ambientali), le desiderate condizioni microclimatiche interne.
Tuttavia, in pratica, nella maggior parte dei casi ciò non è possibile ed anche la costruzione ottimale di un involucro consente di realizzare solamente un parziale controllo del microambiente.
In questi casi è dunque richiesta una azione aggiuntiva operata mediante l'introduzione di specifici dispositivi all'interno della vetrina.
Tali dispositivi rappresentano i livelli successivi nell'attuazione del controllo climatico e possono essere costituiti da semplici sistemi di stabilizzazione dell'umidità relativa mediante materiali "buffer", oppure da un vero e proprio controllo passivo, con modificazione del livello di UR interna attuato mediante la periodica introduzione di materiale tampone precondizionato, o, infine, da veri e propri impianti meccanici di climatizzazione – si effettuerà in quest'ultimo caso un controllo attivo.
Al fine di garantire un ottimale funzionamento del sistema vetrina è necessario che il controllo di frontiera sia il più possibile ottimizzato e prevedere, successivamente, e solo se necessario, un controllo passivo/attivo.

L'effetto del contenitore (controllo di frontiera) è quello di smorzare e sfasare nel tempo le sollecitazioni termiche ed igriche, grazie all'azione di isolamento termico e di impermeabilità all'aria ed al vapore acqueo dell'involucro e dell'effetto di accumulo termico ed igrico del contenitore nel suo insieme (inteso come sistema involucro ed elementi interni per l'esposizione).
Dunque, in termini di controllo di temperatura ed umidità relativa ciò che ci si può attendere adottando il solo controllo di frontiera è di assicurare sul breve periodo valori assoluti delle grandezze termoigrometriche diversi fra macro e microambiente.
Sul lungo periodo, però, poiché deve valere il principio di conservazione dell'energia e della massa, i valori medi di tali variabili non possono che essere coincidenti (si vedano a titolo di esempio gli andamenti di umidità relativa nel tempo all'interno di una vetrina museale e della sala espositiva schematicamente rappresentati in figura 1 – Caso A - ed un esempio di monitoraggio di una vetrina reale con solo controllo di frontiera – figura 2).
Questa caratteristica è molto importante poiché rappresenta una discriminante fondamentale all'atto della scelta del livello di controllo (A,B o C) che occorre adottare.
Infatti, se da monitoraggi preventivi delle condizioni termoigrometriche nella sala espositiva (sempre raccomandabili in questi casi) emerge che le condizioni medie (stagionali e/o annuali) risultano incompatibili con i valori di T ed UR che si vogliono mantenere all'interno della vetrina, occorrerà necessariamente prevedere il passaggio ai livelli B e/o C.

Controllo passivo

L'adozione dei soli sistemi passivi (costituiti da materiali "buffer") equivale ad incrementare l'"inerzia" (in senso lato) nel microambiente e quindi permette unicamente di prolungare i tempi in cui le variabili si portano a regime (ovvero nell'intorno del valore medio - figura 1-Caso B). In questi casi, dunque, se l'obiettivo è il mantenimento di valori medi costantemente diversi fra interno ed esterno occorre prevedere interventi periodici di sostituzione del materiale tampone ("esaurito") con cariche nuove e precondizionate ai valori desiderati.
Ad oggi, in pratica, il controllo passivo è limitato unicamente alla gestione dell'umidità relativa, anche se in via teorica è possibile ipotizzare tecnologie equivalenti da applicarsi anche per la gestione della temperatura, attraverso un opportuno incremento della capacità termica del microambiente.
Da un punto di vista pratico ed applicativo le situazioni che si possono presentare nell'ambito del controllo passivo dell'umidità relativa sono due:

1. realizzazione di vetrine con umidità relativa stabilizzata,
2. realizzazione di vetrine con umidità relativa controllata.

In una vetrina stabilizzata [1] si introduce un quantitativo di materiale tampone (tipicamente Silca-gel, Art-sorb® , Pro-sorb®, …) tale da far sì che le fluttuazioni annue dell'umidità relativa all'interno della vetrina risultino ridotte e, comunque, all'interno dei campi di tolleranza richiesti per la corretta conservazione dell'oggetto esposto.
Ovvero si realizzano vetrine con controllo passivo mediante materiale tampone avente sola funzione di incremento dell'inerzia igrica. In questi casi il valore medio annuale dell'UR all'interno della vetrina risulterà pari a quello della sala, ma con oscillazioni al di sopra ed al di sotto di tale valore relativamente contenute.
Con questa configurazione il materiale buffer non viene sostituito periodicamente (in quanto non necessita di processi di ri-condizionamento) e si dovrà procedere solamente alla sua sostituzione ogni 8 - 10 anni (poiché il materiale tampone è soggetto ad un processo di invecchiamento che ne degrada le caratteristiche).
La possibilità di adottare vetrine stabilizzate è legata all'ampiezza delle oscillazioni annuali di UR consentite dalla corretta conservazione (di fatto non è praticamente possibile limitare le oscillazioni a valori inferiori al 10 - 20 %), alle prestazioni dell'involucro (maggiore è la tenuta ai gas ed all'aria, maggiori sono le possibilità di ridurre con la sola stabilizzazione passiva le oscillazioni annuali di UR) ed alle condizioni di UR all'interno della sala espositiva (più le condizioni termoigrometriche della sala espositiva si avvicinano a quelle desiderate all'interno della vetrina, migliore sarà la prestazione della vetrina stabilizzata).
Nel caso di vetrine con umidità relativa controllata passivamente [2], invece, la strategia di gestione del sistema cambia.
In questo caso il materiale buffer (sempre rappresentato da materiali quali il Silca-gel, Art-sorb® , Pro-sorb®, …) ha funzione di correzione del valore di UR media interna e non di sola stabilizzazione. A tal fine occorrerà introdurre all'interno della vetrina opportuni quantitativi di materiale tampone precedentemente pre-condizionato. Nella sua azione di correzione del microclima interno il materiale tampone andrà incontro ad un processo di "esaurimento" e si dovrà prevedere una sostituzione periodica del materiale "esaurito" con nuovo materiale pre-condizionato.
Al fine di limitare le costose e, a volte, complesse operazioni di sostituzione del materiale tampone si cerca di introdurre una quantitativo di materiale tale da richiedere una sostituzione con cadenza come minimo trimestrale (o, meglio, semestrale).
È possibile diminuire la frequenza di sostituzione del materiale buffer incrementando la prestazioni in termini di tenuta all'aria ed ai gas

dell'involucro, aumentando il quantitativo di materiale tampone introdotto in vetrina, facendo sì che le condizioni termoigrometriche della sala espositiva si avvicinino il più possibile a quelle desiderate all'interno della vetrina.
La figura 3 mostra a titolo di esempio i valori di umidità relativa monitorati all'interno di una vetrina reale con umidità relativa stabilizzata.

Controllo attivo

In questo caso è presente un vero e proprio impianto di climatizzazione meccanica a servizio della singola vetrina (o di gruppi di vetrine) che consente in via teorica un controllo di temperatura ed umidità relativa completo ed indipendente dal microclima presente nella sala espositiva.
Inoltre, grazie alle prestazioni del sistema meccanico ed alle sue potenzialità e rapidità di risposta, sarà concettualmente possibile garantire variazioni dei parametri microclimatici all'interno di intervalli di tolleranza molto stretti, come schematicamente rappresentato in figura 1 - Caso C.
Nel caso di climatizzazione attiva, la vetrina dovrà essere predisposta per il collegamento e/o inserimento di un idoneo impianto di climatizzazione per il controllo della temperatura e dell'umidità relativa. La tenuta all'aria da garantire, in questo caso, non è solo quella dell'involucro, ma è quella complessiva costituita dall'insieme di contenitore, rete di distribuzione dell'aria climatizzata ed impianto di controllo del microclima.
Da un punto di vista teorico, dunque, una vetrina con controllo attivo consente di garantire le migliori condizioni di conservazione. Se questa caratteristica risulta particolarmente confacente alle esigenze dei conservatori occorre, tuttavia, osservare che all'atto pratico e sulla base di numerose esperienze condotte in molti musei nazionali ed esteri, la situazione che spesso si viene a realizzare nella fase gestionale ed operativa della vetrina risulta alquanto diversa.
Un sistema di climatizzazione meccanico, infatti, per assicurare il corretto funzionamento e l'ottenimento duraturo delle prestazioni di progetto attese, deve essere oggetto di una accurata e periodica manutenzione e richiede una conduzione e gestione attenta e continua nel tempo (effettuata, per altro, da parte di personale appositamente istruito e preparato in relazione alle peculiarità del contesto museale). In caso contrario le prestazioni di controllo microclimatico che si ottengono realmente sul campo risultano poco soddisfacenti o inaccettabili e spesso sono peggiori di quelle ottenibili con delle vetrine stabilizzate e/o passive ben realizzate (si veda a titolo di esempio la figura 4, in cui sono rappresentati gli andamenti di temperatura ed umidità relativa all'interno di una vetrina climatizzata non correttamente gestita).

Inoltre, in caso di malfunzionamento o guasto può accadere che le condizioni di temperatura ed umidità relativa all'interno della vetrina cambino repentinamente (nell'arco di poche ore se non di poche decine di minuti) e raggiungano valori di gran lunga più critici di quelli presenti nelle sale museali (ovvero nel macroambiente). Tale situazione è ulteriormente aggravata nel caso di contenitori di piccole dimensioni.

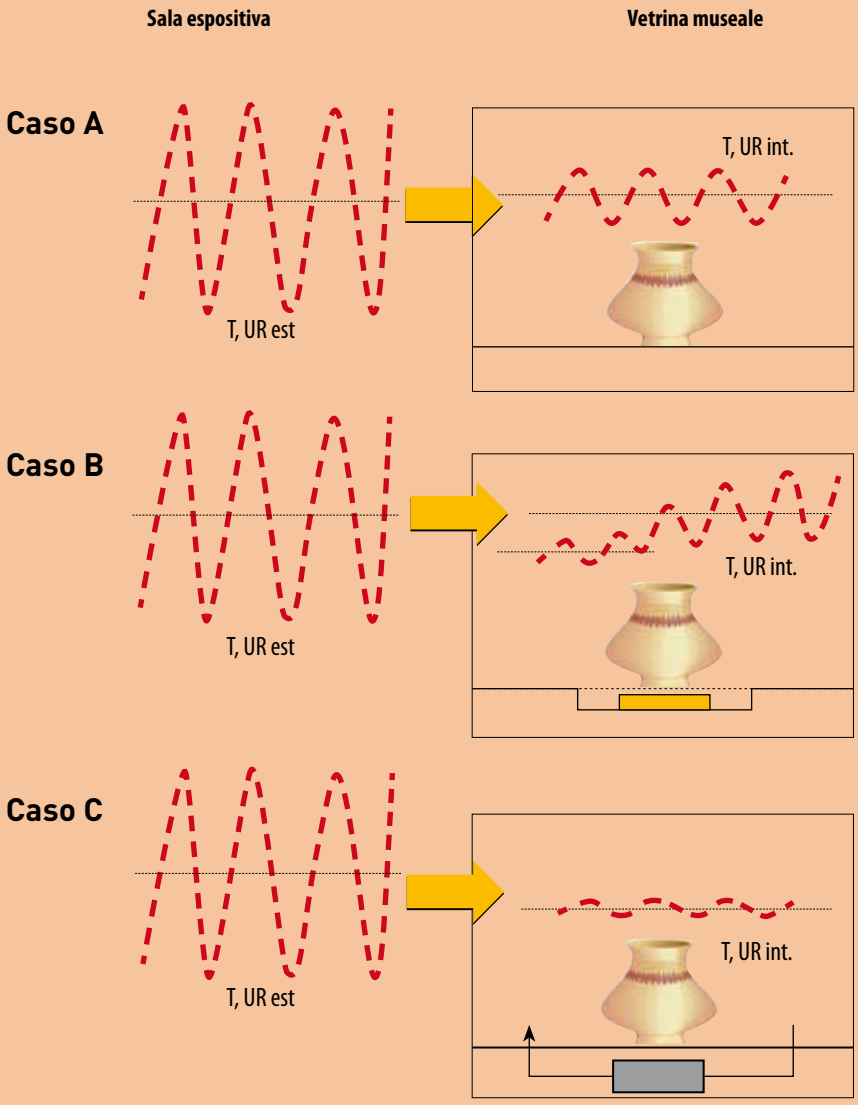


FIGURA 1 – Schema del comportamento termoigrometrico di una vetrina museale: caso A con il solo controllo di frontiera, caso B con controllo passivo, caso C con controllo attivo.

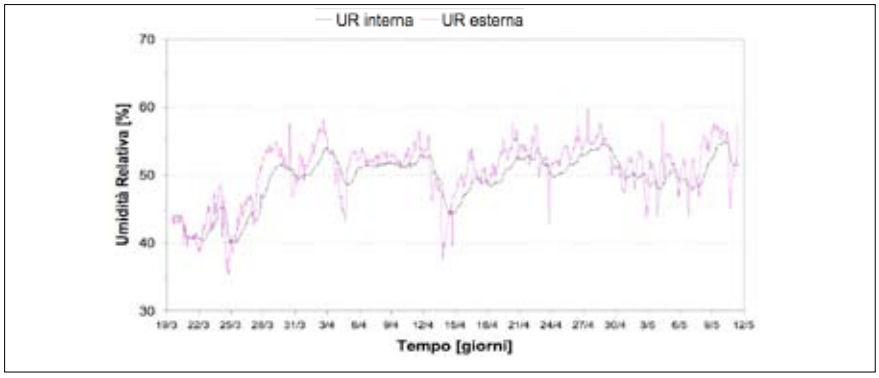


FIGURA 2 - Esempio di monitoraggio di una vetrina reale con solo controllo di frontiera. Profilo temporale dei valori di umidità relativa interni alla vetrina ed esterni (sala espositiva).

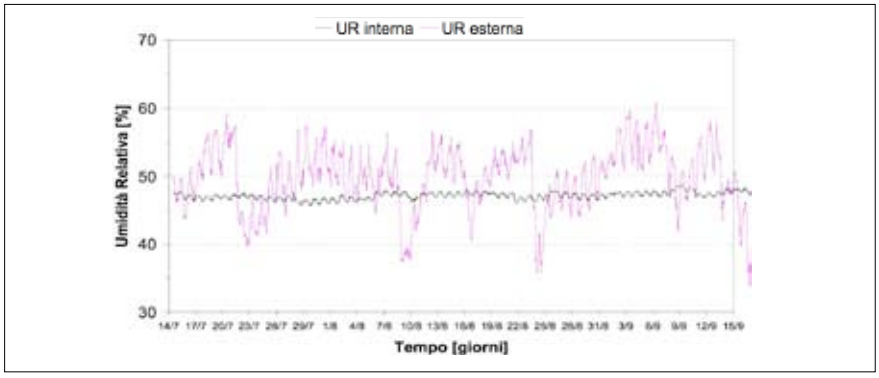


FIGURA 3 - Esempio di monitoraggio di una vetrina reale con umidità relativa stabilizzata. Profilo temporale dei valori di umidità relativa interni alla vetrina ed esterni (sala espositiva).

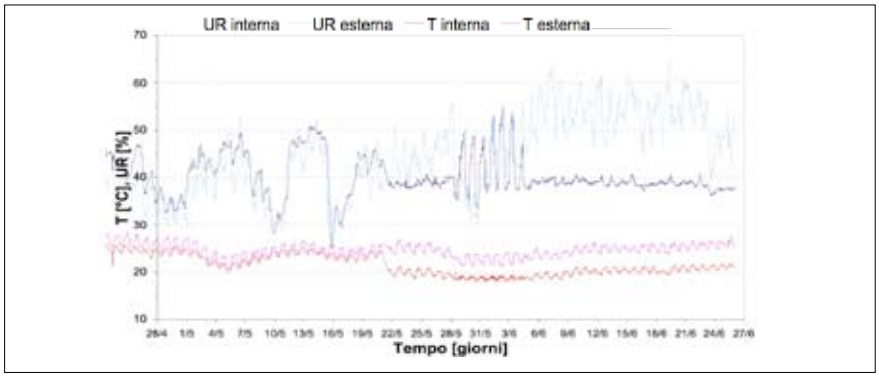


FIGURA 4 – Andamenti temporali di temperatura e umidità relativa all'interno di una vetrina climatizzata non correttamente gestita. Confronto con i valori di T e UR esterni (sala espositiva).

È dunque raccomandabile, nel caso si adotti un sistema attivo di climatizzazione, dotare l'impianto di controlli ridondanti e, inoltre, prevedere nella gestione del museo un presidio costante da parte di personale che venga allertato in tempo reale nel caso si inizino ad instaurare situazioni di malfunzionamento negli impianti delle vetrine.
Per ovviare, in parte, agli svantaggi delle vetrine climatizzate si può accoppiare al sistema di climatizzazione attiva la presenza di una adeguata quantità di materiale tampone per l'UR con funzioni di stabilizzazione ed incremento dell'inerzia igrica del sistema.

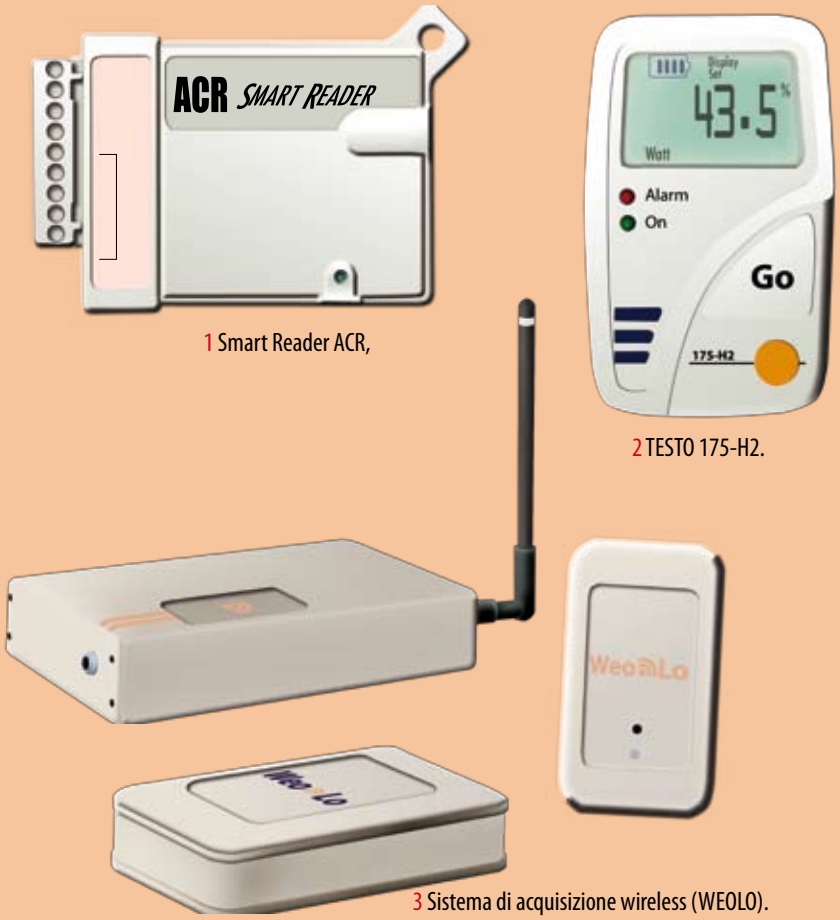
Requisiti prestazionali delle vetrine ai fini del controllo del microclima

Elemento fondamentale per garantire, indipendentemente dal tipo di vetrina adottato (Casi A, B e C), il corretto funzionamento di una vetrina museale a fini conservativi è che ne venga certificata dal costruttore/fornitore la conformità ai requisiti prestazionali desiderati.
Preliminarmente all'atto di richiesta della fornitura, è dunque necessario venga predisposto dall'ente un dettagliato capitolato prestazionale indicante in modo esplicito e puntuale le caratteristiche costruttive e funzionali della vetrina e le modalità con cui il fornitore si impegna a verificare tali specifiche.
A valle della fornitura, inoltre, è raccomandabile effettuare un collaudo prestazionale in opera sulle vetrine o su un loro campione statistico.
In relazione gli aspetti di conservazione preventiva i requisiti prestazionali fondamentali sono rappresentati da:

Temperatura e umidità relativa

Devono essere specificati i valori di temperatura ed umidità relativa che si vogliono mantenere all'interno della vetrina e i rispettivi intervalli di tolleranza.
Per consentire al fornitore una corretta progettazione della vetrina, questi valori dovranno essere accompagnati da informazioni inerenti il microclima presente nella sala espositiva in cui la vetrina sarà collocata (l'ideale è la messa a disposizione del fornitore di un profilo annuale dei monitoraggi di temperatura ed umidità relativa all'interno della sala espositiva).
Per certificare le prestazioni in termini di controllo della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria all'interno della vetrina, la procedura più semplice consiste nel pianificare ed effettuare una campagna di monitoraggio in campo durante la quale si rilevino in continuo (con scansione ogni 15') e per stagioni diverse (meglio se per l'arco di un intero anno) i parametri microclimatici interni alla vetrina e nella sala museale.
Questa operazione può essere facilmente espletata mediante l'utilizzo di microdatalogger autonomi tradizionali o di tipo wireless (figura 5).

In alternativa è possibile effettuare delle prove di laboratorio in cui si analizzi la risposta della vetrina ad una sollecitazione a gradino di UR e di temperatura (per maggiori dettagli circa questa tecnica di misura si rimanda a Filippi, Perino - 2005).



1 Smart Reader ACR,

2 TESTO 175-H2.

3 Sistema di acquisizione wireless (WEOLO).

FIGURA 5 – Esempi di modelli di microdatalogger autonomi, tradizionali e wireless, per la misura dei valori di temperatura e umidità relativa dell'aria

Permeabilità ai gas e tenuta all'aria

Queste grandezze influenzano sia gli scambi di massa che di energia del sistema e dunque sono essenziali nel determinare le prestazioni complessive del contenitore in termini di controllo di T ed UR.

Nelle vetrine museali, salvo casi particolari ad esempio quando alcuni degli oggetti esposti emettono sostanze inquinanti che accumulandosi potrebbero deteriorare i materiali stessi, l'obiettivo è quello di realizzare

una buona "tenuta all'aria". In tal modo i parametri ambientali all'interno del contenitore risentono in maniera meno marcata delle variazioni delle grandezze climatiche del locale in cui la vetrina stessa è posizionata e si limita l'ingresso di sostanze inquinanti; conseguentemente si hanno maggiori garanzie in termini di conservazione.
Per quantificare complessivamente e congiuntamente la permeabilità ai gas ed all'aria di una vetrina museale, la grandezza più idonea risulta essere il numero di ricambi al giorno, n, misurato mediante tecniche di decadimento con i gas traccianti (per maggiori dettagli si rimanda a Filippi, Perino – 2005 e Charlesworth, 1988).

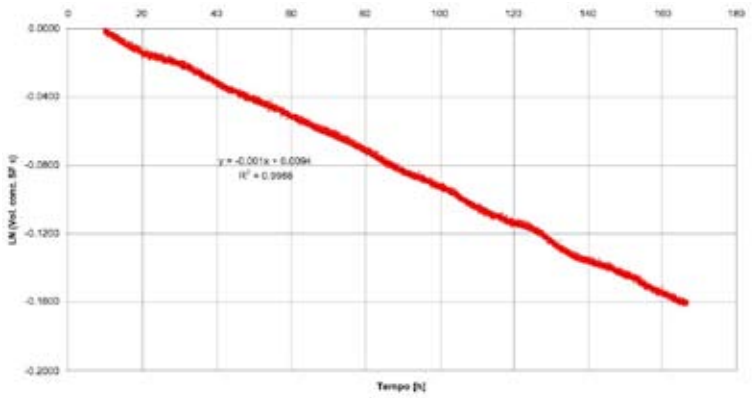


FIGURA 6 - Esempio di misure con gas traccianti in vetrina plexiglas - metallo ad elevata tenuta.

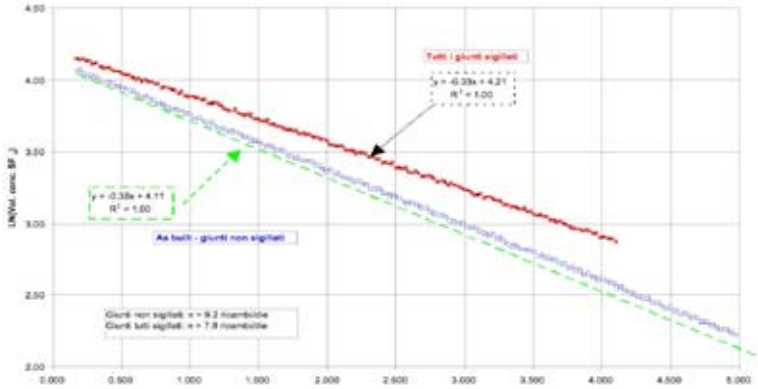


FIGURA 7 - Esempio di misure con gas traccianti in vetrina plexiglas - medium density a scarsa tenuta.

In figura 6 è riportato, a titolo di esempio, il decadimento di tracciante (esafluoruro di zolfo) ottenuto testando una vetrina museale ad elevata tenuta realizzata con plexiglass e metallo.

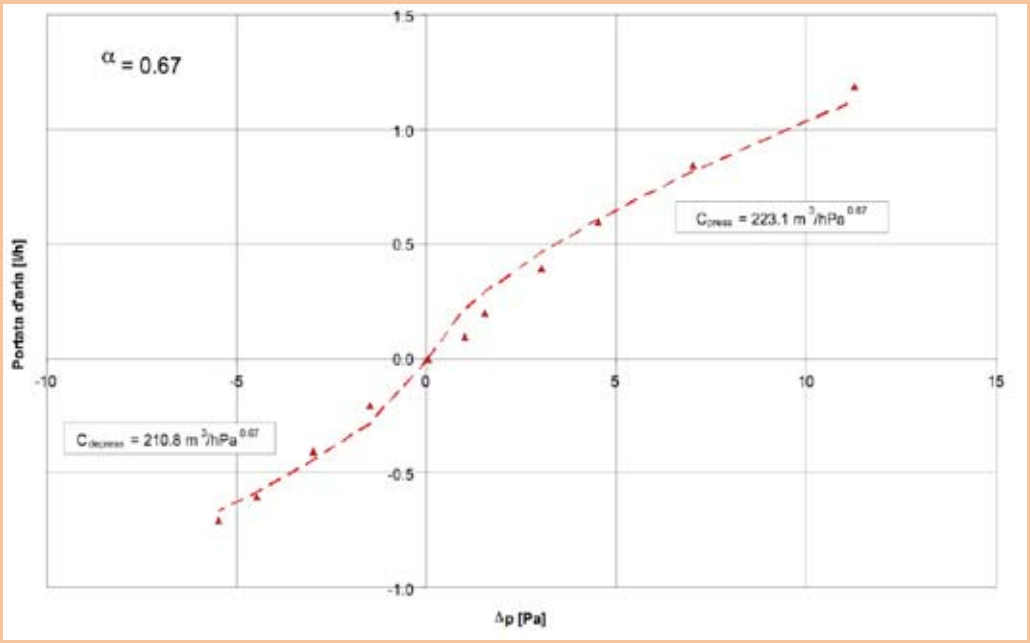
La figura 7 mostra invece i risultati di una analoga prova effettuata su una vetrina realizzata con plexiglass e Medium Density Fiber (MDF – pannello in fibra di legno) a scarsa tenuta.
Quando, invece, si desidera misurare la sola tenuta all'aria della vetrina (legata essenzialmente alla qualità dei giunti di collegamento fissi e mobili) è possibile far riscorso alle cosiddette "prove di pressurizzazione".
La portata di aria che una vetrina scambia con la sala espositiva in cui è inserita è, infatti, esprimibile matematicamente attraverso una relazione del tipo:

$$Q = c \cdot A \cdot \Delta p^{\alpha} = C \cdot \Delta p^{\alpha} \quad (1)$$

dove:

A = superficie di inviluppo della vetrina (superficie dell'involucro) [m^2],
c = permeabilità all'aria specifica della vetrina [$m^3/(h \cdot m^2 \cdot Pa^{\alpha})$],
C = $c \cdot A$ = permeabilità all'aria della vetrina [$m^3/(h \cdot Pa^{\alpha})$],
Q = portata volumetrica d'aria di ventilazione o portata di rinnovo [m^3/h],
Δp = differenza di pressione tra l'interno della vetrina e l'ambiente esterno [Pa],
α = esponente caratteristico del deflusso

I valori dell'esponente α sono compresi tra 0.5 (nel caso di deflusso turbolento pienamente sviluppato) e 1 (nel caso di deflusso puramente laminare).
Mediante le prove di pressurizzazione è possibile valutare il comportamento delle vetrine caratterizzandone l'involucro del punto di vista della permeabilità all'aria.
Questa tecnica consente cioè di determinare i parametri C ed α che compaiono nell'equazione (1) e, dunque, permette di "classificare" la vetrina indipendentemente dalle condizioni al contorno in cui essa opera.
Il principio di misura consiste nel creare artificialmente prefissate differenze di pressione, Δp, tra l'interno del contenitore e l'esterno (l'ambiente nel quale la vetrina è posta) e nel misurare per ciascuna di esse il corrispondente valore di portata, Q. La prova può essere facilmente condotta sia in laboratorio che in campo.
Tanto minore è il valore del parametro C (permeabilità all'aria) tanto migliore sarà la prestazione (tenuta all'aria) della vetrina.
In figura 8 sono riportati, a titolo di esempio, i risultati di prove effettuate, rispettivamente, per una vetrina con scarsa tenuta all'aria e per una vetrina con eccellente tenuta all'aria (vetrina predisposta per operare con atmosfera controllata). Si osservi come i valori di C differiscano per diversi ordini di grandezze.



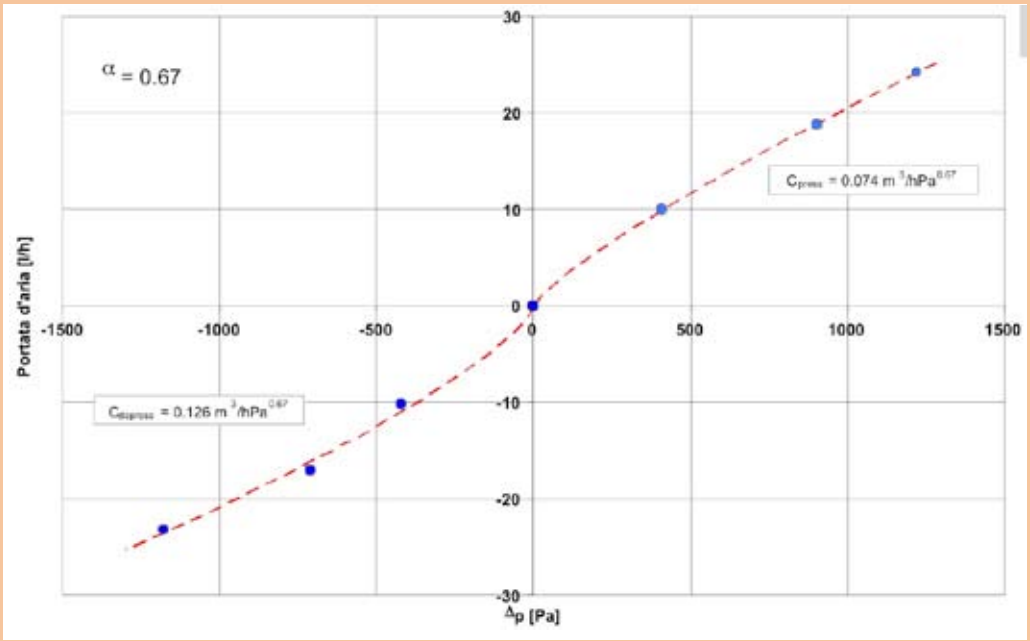


FIGURA 8 - Prove di pressurizzazione. In alto: vetrina con scarsa tenuta all'aria (giunti fra superfici non realizzati ad opera d'arte, sistemi di tenuta all'aria di sportelli e accessi ai vani tecnici ed espositivi realizzati grossolanamente). In basso: vetrina con eccellente tenuta all'aria (giunzioni fra superfici a tenuta, sistemi di accoppiamento fra parti mobili realizzati con guarnizioni toriche installate ad arte).

Linee guida e filosofia progettuale per la corretta scelta di una vetrina museale

Il corretto percorso per la scelta ed il progetto di una vetrina museale a fini conservativi consiste:

1) nell'ottimizzare primariamente il controllo di frontiera, realizzando un involucro ad elevate prestazioni (alta tenuta all'aria ed ai gas),

2) di prevedere, successivamente, una stabilizzazione dell'umidità relativa interna mediante un controllo passivo con materiale tampone (tipo e quantità da definirsi sulla base dei requisiti ambientali richiesti),

3) solo se strettamente necessario:
   a attuare un controllo passivo per la modifica del valore medio di umidità relativa interna alla vetrina rispetto al valore esterno, e/o
   b ricorrere ad una vetrina climatizzata (controllo attivo) (il controllo attivo diviene necessario se si desidera controllare la temperatura all'interno della vetrina su valori costantemente diversi da quelli della sala espositiva).

Occorre, in via generale, realizzare prioritariamente una vetrina ad elevata tenuta all'aria ed ai gas, in modo che i parametri ambientali all'interno del contenitore risentano in maniera meno marcata delle variazioni delle grandezze climatiche della sala espositiva e venga limitato l'ingresso di sostanze inquinanti solide ed aeriformi. Grazie a queste caratteristiche si avranno maggiori garanzie in termini di conservazione, indipendentemente dal tipo di controllo microclimatico interno scelto (inoltre la buona prestazione dell'involucro risulta sinergica per una stabilizzazione efficace dell'UR tramite materiali "buffer").
Successivamente, e solo quando necessario, si attua un controllo dei parametri termoigrometrici. Questo potrà, a seconda delle esigenze, essere articolato secondo:

a. Controllo passivo

1) vetrina stabilizzata (ovvero vetrine con controllo passivo mediante materiale tampone avente sola funzione di incremento dell'inerzia igrica – sostituzione ogni 8 - 10 anni del materiale);
2) vetrina con umidità relativa controllata passivamente (vetrine con controllo passivo mediante materiale tampone avente funzione di correzione del valore di UR media – sostituzione del materiale con cadenza all'incirca semestrale).

b. Controllo attivo

vetrina con clima controllato attivamente (presenza di un impianto di climatizzazione meccanica a servizio della singola vetrina controllo di temperatura ed umidità relativa. In questo caso si raccomanda comunque l'accoppiamento del sistema di climatizzazione con la presenza di una adeguata quantità di materiale tampone per l'UR).

Considerazioni generali

Nel caso di vetrina stabilizzata e/o con umidità relativa controllata passivamente, dovrà essere predisposto un opportuno vano tecnico, di adeguata volumetria ed in contatto con il vano espositivo (garantendo efficaci scambi di aria fra vano espositivo e vano tecnico), per la collocazione del materiale tampone. Tale vano dovrà essere facilmente accessibile dall'esterno per permettere le operazioni di manutenzione.
Con il passaggio dalla tipologia a1. alla tipologia a2. variano i costi di gestione.
Nel caso di vetrine stabilizzate (a1). il costo di gestione risulta legato alla sola sostituzione ogni 8 - 10 anni del materiale tampone (coerentemente con le indicazioni fornite dai produttori che indicano in questo arco di tempo la durata in piena efficienza del materiale stesso. Per utilizzi più prolungati il materiale tende a perder parte della sua capacità di stabilizzazione. La presenza di alcuni inquinanti gassosi, quali l'acido acetico, può inoltre determinare un invecchiamento più precoce del materiale).
Nel caso di vetrine di tipo a2. occorre invece procedere al periodico ricondizionamento del materiale tampone (operazione che prevede il turn-over del materiale "buffer", con una ciclicità stimabile in 3 - 6 mesi circa, ed il suo invio in strutture opportune che ne ripristino il contenuto d'acqua all'equilibrio al valore desiderato di umidità relativa). In questo caso il costo è dunque legato al ricondizionamento ed alle operazioni ad esso correlate, ma non richiede il riacquisto del materiale. Il ricondizionamento periodico del materiale limita, tuttavia, la vita utile dei materiali tampone a circa 5 anni.
Nel caso di climatizzazione attiva, la vetrina dovrà essere predisposta per il collegamento e/o inserimento di un idoneo impianto di climatizzazione per il controllo della temperatura e dell'umidità relativa.
Come sottolineato nei precedenti paragrafi, nel caso si adotti un sistema attivo di climatizzazione, è raccomandabile dotare l'impianto di controlli ridondanti e, inoltre, prevedere nella gestione del museo un presidio costante da parte di personale che venga allertato in tempo reale nel caso si inizino ad instaurare situazioni di malfunzionamento agli impianti delle vetrine.
Occorre, pertanto, considerare con grande cautela l'adozione di un sistema di climatizzazione attiva per il controllo climatico della vetrina,

anche in relazione dei sensibili costi di acquisto, gestione e manutenzione che ciò comporta.
Si consiglia quindi di orientarsi su un controllo di tipo attivo solo se risultasse strettamente indispensabile un controllo con tolleranze molto strette dei valori di umidità relativa e, soprattutto, dei valori di temperatura.

Le azioni da intraprendere

Per una corretta scelta ed ordinazione di una vetrina museale, confacente alle specifiche esigenze di conservazione, occorre:

- definire il quadro esigenziale microclimatico per la vetrina (la definizione delle condizioni ambientali ottimali di conservazioni occorre sia attuata di concerto fra esperti di controllo del microclima ed i conservatori del museo),
- valutare e definire le condizioni termoigrometriche tipicamente presenti nella sala espositiva dove la vetrina sarà collocata,
- definire i requisiti costruttivi e prestazionali della vetrina (tenuta all'aria ed ai gas, compatibilità dei materiali costruttivi, problematiche di sicurezza dei materiali, valutazione di problematiche di outgasing da parte del materiale conservato, …),
- definire la scelta della tipologia di vetrina più adatta alle esigenze (non controllata, stabilizzata, passiva, attiva),
- redigere un dettagliato capitolato prestazionale per l'ordinazione e la fornitura della vetrina,
- nel caso di adozione di vetrine con controllo passivo: definire la quantità ottimale di materiale tampone per la gestione dei valori di UR e simulare il comportamento igrico della vetrina nell'arco delle varie stagioni. Definire le strategie di gestione del materiale tampone (periodi di sostituzione, intervalli eventuali di rigenerazione, ….),
- nel caso di adozione di vetrine con controllo attivo: definire le specifiche tecniche del sistema di climatizzazione ed il suo accoppiamento con il materiale tampone (quantità e modalità di gestione),
- effettuare il collaudo in opera della vetrina - o di un certo numero di vetrine a campione nel caso di forniture multiple - (consistente nella verifica della tenuta all'aria ed ai gas e nel monitoraggio in continuo dei parametri termo igrometrici interni ed esterni alla vetrina).

Note

[1] Difesa da atti vandalici o criminali
[2] Difesa da urti accidentali e vibrazioni

Bibliografia

1. AAVV, progetto di norma U84000046 "Beni culturali – vetrine per esposizioni permanenti e temporanee – Identificazione, classificazione e marcatura", Commissione UNI Beni Culturali Gruppo di Lavoro 22, 2004.
2. ASHRAE, "Handbook of Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2001.
3. Charlesworth P.S., Air Exchange Rate and Airtightness Measurement Techniques - An Application Guide, AIVC Doc. AIC-AG-2-88, August 1988.
4. Etheridge, D., Sandberg, M., "Building Ventilation – Theory and Measurement", John Wiley & Sons, 1996.
5. Filippi, M., Perino M., Le prestazioni delle vetrine museali ai fini del controllo del microclima – il controllo di frontiera, Convegno "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma 2005

Livello di qualità microclimatica, consumi energetici e impatti ambientali in ambienti museali

Stefano Paolo Corgnati
Valentina Fabi
Daniela Raimondo

Il controllo microclimatico per la conservazione di oggetti di interesse storico, artistico e culturale, richiede particolare attenzione non solo per la grande varietà di oggetti che spesso devono essere esposti in ambienti comuni, ma soprattutto per i diversi valori termo-igrometrici che devono essere mantenuti per assicurare la durabilità delle opere nel tempo [1, 2].
Il mantenimento di un determinato microclima negli ambienti dediti alla conservazione risulta quindi essere fondamentale per evitare il processo di deterioramento dei materiali: tale processo viene favorito dalla fluttuazione dei valori di temperatura ed umidità relativa all'interno dell'ambiente, derivanti non solo dalle condizioni climatiche esterne, ma anche da fattori interni quali la presenza di carichi dovuti all'occupazione delle persone o alla presenza degli impianti di illuminazione [3]. Il verificarsi di tali fenomeni comporta l'innesco di processi chimici, fisici e biologici che, accumulandosi nel tempo, comportano l'accelerazione del normale corso di degrado [4].
Ai fini conservativi è dunque necessario valutare quali siano le migliori condizioni microclimatiche da mantenere nelle sale espositive o nei depositi [5, 6], studiando accuratamente le diverse soluzioni proposte dalla ricerca sia in campo impiantistico che tecnologico, valutando i costi non solo sul piano economico, ma anche su quello energetico e ambientale. Infatti, la richiesta di un controllo delle fluttuazioni delle grandezze termo igrometriche in ambiente determina un incremento dei fabbisogni di energia e, di conseguenza, un aumento dei costi e delle emissioni gassose in ambiente.
In Italia, in particolare, le condizioni ambientali di conservazione negli edifici museali sono regolate dalla Norma UNI 10829:1999 "Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi" [7] e dal successivo Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" [8]. La prima descrive una metodologia per la misurazione in campo delle grandezze ambientali termoigrometriche e di illuminazione ai fini della conservazione di beni di interesse storico e artistico. A tal fine

fornisce indicazioni relative alle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati, con obiettivo una specifica valutazione per il contenimento dei processi di degrado [9]. La norma riporta anche i valori di riferimento consigliati ai fini della progettazione di impianti di climatizzazione da inserirsi in ambienti che contengono beni di interesse culturale (Tab. 1). Il successivo Decreto, invece, suddiviso in svariati ambiti, considera la materia da più punti di vista, mirando a fornire criteri tecnico-scientifici indirizzati sia alla conoscenza che alla salvaguardia dei beni. Esso, inoltre, fornisce informazioni in merito alla documentazione necessaria ai fini conservativi, definendo quali sono i parametri ambientali da controllare, le caratteristiche dei contenitori espositivi, i rischi che si corrono nella movimentazione delle opere ecc.

TABELLA 1 - Intervallo di accettabilità di temperature e umidità relative per alcune categorie di beni secondo la norma UNI10829.

	T	ΔT MAX	U.R.	ΔU.R. MAX	E MAX	UV MAX	LO MAX
MATERIALI /OGGETTI DI NATURA ORGANICA							
Manufatti artistici di carta, cartapesta, veline, tapezzerie	18÷22	1.5	40÷55	6	50	75	0.2
Tessuti, velari tappeti, tappezzerie in stoffa, arazzi, seta, costumi, abiti, paramenti religiosi, fibre naturali, sisal, juta	19÷24	1.5	30÷50	6	50	75	0.2
Cere, cere anatomiche	<18	NR	NR	NR	150	75	
Erbari e collezioni	21÷23	1.5	45÷55	2	50	75	0.2
Collezioni entomologiche	19÷24	1.5	40÷60	6	50	75	0.2
Animali e organi anatomici conservati in formalina	15÷25	1.5	NR	NR	50	75	0.2
Animali e organi anatomici essicati, mummie	21÷23	1.5	20÷35		50	75	0.2
Pellicce, piume, animali ed uccelli impagliati	4÷10	1.5	30÷50	5	50	75	0.2
Disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo	19÷24	1.5	45÷60	2	50	75	0.2
Collezioni etnografiche, maschere, cuoio	19÷24	1.5	45÷60	6	50	75	0.2
Dipinti su tela, pitture a olio su tela e canovaccio, tempere, guazzi	19÷24	1.5	45÷60	6	150	75	0.2

Documenti archivistici su carta e pergamena, papiri, manoscritti, volumi a stampa, collezioni filateliche	13÷18		50÷60	5	150	75	
Legature con pelle o pergamena	19÷24	1.5	45÷55	6	50	75	0.2
Lacche, mobili, decorati o laccati	19÷24	1.5	50÷60	4	50	75	0.2
Sculture policrome di legno, legno dipinto, pitture su legno, icone di legno, strumenti musicali di legno	19÷24	1.5	50÷60	4	50	75	0.2
Sculture di legno non dipinte, oggetti di vimini, pannelli di legno o corteccia	19÷24		45÷60	4	150	75	0.5

La recente normativa europea EN 15251:2007, "Indoor environmental input parameters and assessment of energy performance of buildings, addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics" [10], propone, in linea con la norma italiana precedentemente introdotta, un metodo di certificazione e classificazione della qualità dell'ambiente interno, indicando quali metodi di misurazione e monitoraggio seguire.

TABELLA 2 - Classi di controllo termoigrometrico per la conservazione (ASHRAE 2007)

DESTINAZIONE D'USO DELL'EDIFICIO	VALORI DI SET POINT O VALORI MEDI SU BASE ANNUA	MASSIME FLUTTUAZIONI E GRADIENTE PER LE GRANDEZZE TERMOIGROMETRICHE			RISCHI PER LA CONSERVAZIONE
		Classi di controllo	Gradienti	Possibile margine di variazione stagionale rispetto al Set point	
Musei in generale, Gallerie d'arte, Biblioteche ed Archivi.	RH = 50 % (o valor medio annuo da dati storici per le collezioni permanenti) 15°C <T< 25°C	**AA** Controllo di precisione. Nessuna variazione stagionale permessa	RH ± 5 % T ± 2°C	Nessuna variazione ± 5 °C	Classi di controllo Nessun rischio di danno meccanico per la maggior parte dei manufatti e dei dipinti. Alcuni metalli e minerali possono degradarsi se il valore di UR posto al 50% supera il valore limite di umidità critico per la loro conservazione. [...]
		A Controllo di precisione. Permessi contenuti gradienti e variazioni stagionali	RH ± 5 % T ± 2°C RH ± 10 % T ± 2°C	± 10 % -10°C ÷ 5°C Nessuna variazione +5°C ma ≤ 30°C	Lievi rischi di danno meccanico per manufatti ad alta vulnerabilità, nessun rischio per la conservazione di manufatti, dipinti, libri, fotografie [...]

Musei in generale, Gallerie d'arte, Biblioteche ed Archivi.	RH = 50 % (o valor medio annuo da dati storici per le collezioni permanenti) 15°C <T< 25°C	**B**	Controllo di precisione. Permessi gradienti di variazione e definizione del massimo valore di temperatura	RH ± 10 % T ± 5°C	± 10 % +10°C ma ≤ 30°C	Rischio moderato di danno meccanico per manufatti ad alta vulnerabilità; rischio lieve per la maggior parte dei dipinti e fotografie e per alcuni manufatti e libri; nessun rischio per la maggior parte dei manufatti e dei libri.
		C	Prevenzione dai rischi estremi di conservazione	RH Tra 25 e 75% durante l'anno T Raramente > a 30°, normalmente < 25°C		Rischio elevato di danno meccanico per manufatti ad alta vulnerabilità; rischio moderato per la maggior parte dei dipinti e fotografie e per alcuni manufatti e libri; rischio lieve per la maggior parte dei manufatti e dei libri. […]
		D	Prevenzione dal rischio di rotture	RH < a 75% T		Rischio elevato di danno meccanico, immediato o cumulativo, per la maggior parte dei manufatti e dipinti per bassa umidità […]

A differenza degli standards italiani, gli studi americani di ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) concentrano la loro attenzione sulla valutazione del benessere delle intere collezioni e non più del singolo oggetto. A tale proposito Applications Handbook 2007, chapter 21, riporta i requisiti di controllo termoigrometrico per gli ambienti che espongono e/o custodiscono opere d'arte, suddividendoli in 5 classi di controllo (Tab.2) [11]. Tali classi, la cui suddivisione ha lo scopo di salvaguardare le opere da eventuali danni dovuti al mancato o allo scarso controllo di temperatura e umidità relativa, vengono successivamente relazionate con le potenzialità di controllo termoigrometrico dei possibili sistemi edificio-impianti, consentendo proprio di ottenere un'ulteriore classificazione degli edifici dal punto di vista del loro "potenziale controllo microclimatico" (Conrad 1995, "Classifications of Climate Control Potential in Buildings").

Qualità microclimatica in ambienti museali e potenzialità di controllo

La problematica del controllo climatico viene sviluppata attraverso un approccio metodologico che non si concentra più solo sull'opera d'arte, ma sofferma l'attenzione sul sistema edificio-impianto, sulle potenzialità di controllo e sui relativi costi energetici [14-16]. Sulla base di queste considerazioni introduttive, è stata condotta un'analisi finalizzata ad esaminare le relazioni esistenti tra requisiti microclimatici, potenzialità di controllo del "sistema edificio-impianti" e consumi energetici.

Effetti degli impianti

La valutazione dell'effetto causato dalla presenza o meno di impianti per il controllo microclimatico in edifici caratterizzati da differenti tipologie di involucro è reso possibile grazie allo studio del comportamento microclimatico di un ambiente campione scelto come riferimento (Tabella 3).

TABELLA 3 - Caratteristiche dell'edificio oggetto della simulazione

Luogo			**Torino**	**N 45°13′ E 7°39′**
Oggetto			Edificio (Museo)	
Dimensioni			30m x 30m x 9m	
Periodo di riscaldamento			15/10 – 15/04	
Periodo di raffrescamento			01/06 – 31/08	
Set point	Sistema ad acqua	Riscaldamento	T= 21 °C	
		Raffrescamento	T= 25 °C	
	Sistema ad aria	Riscaldamento	T= 21 °C	RH= 50 %
		Raffrescamento	T= 25 °C	RH= 50 %

In questa memoria si riporta lo studio che è stato sviluppato attraverso simulazioni dinamiche effettuate con il Software Energy Plus [17]. Lo scopo delle simulazioni è quello di mostrare le relazioni tra la qualità dell'aria interna, consumi energetici e emissioni in ambiente. Nell'analisi sono state investigate diverse combinazioni del sistema edificio-impianti (Tab. 4). I dati climatici utilizzati durante le simulazioni, riferiti alla città di Torino, sono definiti dall' "Italian Climatic data collection Gianni De Giorgio (IGDG)".

TABELLA 4 – Differenti combinazioni di caratteristiche di involucro ed impianti presi in analisi.

Isolamento	Non isolato	U = 1 W/m2K		Assenza di Impianto (nessun controllo meccanico)
	Ben isolato	U = 0,3 W/m2K		
	Poco permeabile	N° infiltrazioni	0 l/h	Impianto a sola Acqua (controllo meccanico della temperatura in riscaldamentoe raffrescamento)
	Molto permeabile	N° infiltrazioni	0,25 l/h	
Capacità Termica	Leggero (800kg/m3 se isolato (I) e non permeabile (NP), 220 kg/m3 se non isolato (NI) e permeabile (P)			Impianto a tutt'Aria(controllo meccanico di temperatura ed umidità relativa in tutte le condizioni)
	Medio (1500 kg/m^3 se I e NP, 850 kg/m3 se NI e P)			
	Pesante (2850 kg/m^3 se I e NP, 1650 kg/m3 se NI e P)			

I dati di Temperatura (T) e Umidità relativa (RH) derivanti dalle simulazioni, sono stati elaborati al fine di determinare
l'Indice di Prestazione (PI) [18] relativo al mantenimento di condizioni microclimatiche ritenute "accettabili" per la conservazione delle opere sulla base delle indicazioni dei responsabili della conservazione.
Esso esprime un giudizio sintetico sulla qualità dell'ambiente interno in relazione alla conservazione delle opere in esso contenute in quanto rappresenta la percentuale di tempo durante la quale i parametri rilevati ricadono nei rispettivi intervalli di accettabilità fissati. Il complemento ad 1 del PI si definisce Indice di Scostamento (IS).
Le prime considerazioni sui risultati ottenuti dalle simulazioni sono relative ai profili temporali delle grandezze termoigrometriche.
Gli ambienti simulati senza l'inserimento di impianti di controllo climatico mostrano profili temporali di temperatura (T) ed umidità relativa (RH) che variano a seconda delle caratteristiche dell'involucro simulato. I grafici riportati in figura 1 illustrano l'andamento, durante il corso di un intero anno, di T ed RH di due edifici realizzati con involucro leggero ed isolato ma con diversa permeabilità all'aria: il primo (caso A) poco permeabile, mentre il secondo (caso B) molto permeabile (si veda tabella 4).
Dalla lettura dei grafici emerge la fortissima influenza sull'andamento dei parametri termo igrometrici: nel caso B l'andamento della temperatura subisce fluttuazioni comprese tra i 7°C (T minima invernale) e i 35°C (T massima estiva), ottenendo un ΔT di circa 22°C. Nel caso A, invece, la stessa differenza di temperatura supera i 33°C.
Ragionamento analogo può essere effettuato osservando l'andamento dell'umidità relativa. In tal caso l'influenza dell'elevata o ridotta permeabilità in un involucro emerge in maniera evidente, basti osservare l'andamento delle curve nei due esempi proposti: nel caso B l'andamento dell'umidità relativa presenta valori molto simili a quelli che si hanno in ambiente esterno e, in periodo estivo, si raggiunge spesso il 100%. Diversamente accade nel caso A: l'umidità relativa ha un andamento indipendente rispetto all'ambiente esterno e tende a mantenersi costante durante il corso dell'anno, con valori medi di circa il 45% in estate e di circa il 55% in inverno.
Tale comportamento è dato dal fatto che un edificio permeabile (B) è soggetto ad un numero maggiore di ricambi orari d'aria e a maggiori infiltrazioni: una quantità significativa di aria esterna caratterizzata dal proprio titolo xae tenderà quindi a miscelarsi con quella dell'aria interna con xai con conseguente significativa variazione delle fluttuazioni dell'umidità relativa.
Gli stessi dati illustrati in Figura 1 possono essere rappresentati in maniera differente, non riportando più i parametri rilevati in relazione al tempo, ma ponendoli in rapporto tra loro: in tal modo è possibile leg-

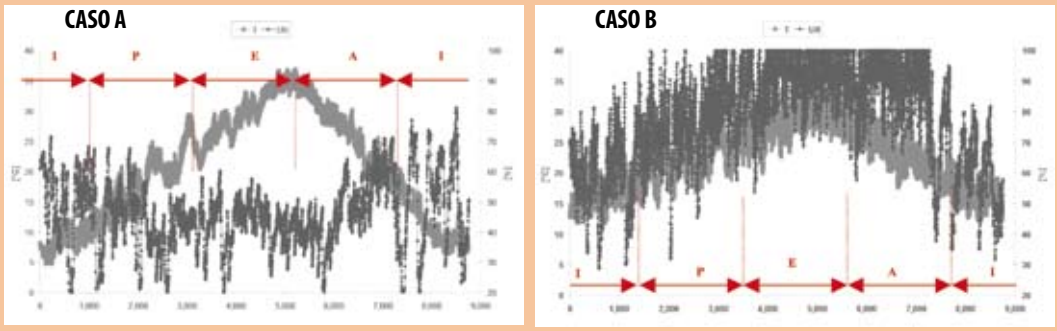


FIGURA 1 – Andamento di temperatura (T) ed umidità relativa (RH), in assenza di impianto, per due differenti combinazioni di involucro: involucro leggero, isolato e poco permeabile all'aria (CASO A) ed involucro leggero, isolato e permeabile all'aria (CASO B) (I= inverno, P= primavera, E= estate, A= autunno)

gere in ascissa i valori di umidità Relativa (RH) e, in ordinata, i corrispondenti di temperatura (T) (Fig. 2). Su tali diagrammi, tracciando le linee che rappresentano i limiti superiori ed inferiori degli intervalli di accettabilità stabiliti per T e RH, si va a determinare una regione rappresentativa dell'intervallo di accettabilità richiesto ai fini della conservazione. Per garantire adeguate condizioni per la conservazione delle opere, dunque, tutti i parametri rilevati dovrebbero collocarsi all'interno di tale rettangolo.

Il modello di rappresentazione grafica proposto in Figura 2, malgrado rispetto al precedente perda il riferimento temporale dei parametri ricavati, consente di avere una lettura più chiara di quelle che sono le dinamiche termoigrometriche dei due casi (A e B) messi a confronto. Ne emerge infatti che, variando la sola permeabilità dell'involucro, si possono ottenere indici di performance (PI) molto differenti.

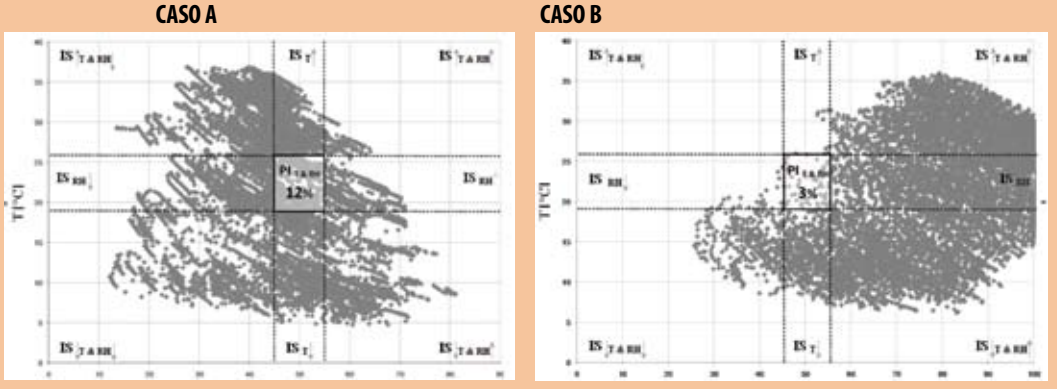


FIGURA 2 - Andamento di temperatura ed umidità relativa, in assenza di impianto, per due differenti combinazioni di involucro: involucro leggero, isolato e poco permeabile all'aria (CASO A) ed involucro leggero, isolato e permeabile all'aria (CASO B)

Nel caso B il Performance Index risulta pari al 3% e la regione che delimita il campo di tolleranza è collocata in una zona marginale rispetto all'insieme degli altri punti. In questo caso l'Indice di scostamento dell' umidità relativa (ISRH) è notevolmente alto: i valori di umidità relativa che si raggiungono in ambiente, e che graficamente si collocano sulla destra del diagramma, superano spesso la soglia massima di accettabilità e raggiungono in molti casi il 100%.

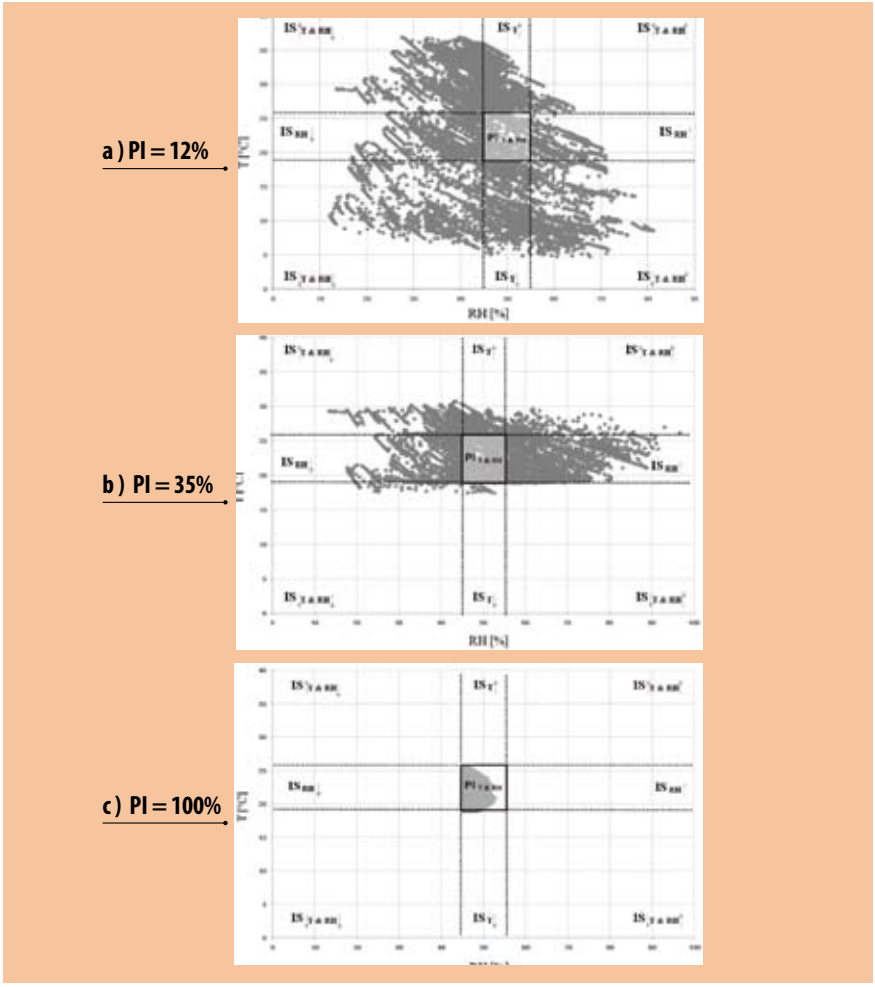


FIGURA 3 – Diagrammi del PI per un edificio leggero, isolato e poco permeabile all'aria in tre diverse configurazioni: senza impianto (a), con impianto ad acqua (b), con impianto a tutt'aria (c).

Il caso A presenta un valore PI solo pari al 12% e la globalità dei punti raccolti si distribuisce con uniformità intorno all'area di accettabilità: malgrado in entrambi il casi il valore di PI risulti molto basso, nel caso A il PI si rivela quattro volte maggiore rispetto al precedente.
Il controllo di T e RH nei due casi esaminati è dipendente solamente

dalle dinamiche termiche dell'involucro senza alcuna spesa energetica: la simulazione effettuata dimostra dunque come si possono raggiungere migliori condizioni per la conservazione con il solo potenziamento delle caratteristiche dell'involucro edilizio.
L'analisi procede quindi partendo dai risultati ottenuti analizzando l'effetto del solo involucro edilizio, con la verifica della capacità dei sistemi di controllo climatico di mantenere le condizioni termo igrometriche richieste in ambiente, simulando le diverse tipologie di sistemi edificio-impianto. Sulla base del caso A dell'analisi precedente, si procede dunque con lo studio del livello di controllo termo igrometrico che si può ottenere grazie all'inserimento degli impianti.
Il primo grafico (a) riportato in Fig. 3, come già indicato precedentemente, illustra in termini di T ed RH, il comportamento di un edificio con involucro leggero, isolato, poco permeabile all'aria ed in cui non vi sia presenza di impianto. Se all'interno dello stesso edificio si ipotizza di installare un impianto ad acqua (b) per il solo controllo della temperatura in periodo di riscaldamento e raffrescamento, per esempio un tipico impianto a ventilconvettori, si può notare come molti valori che nel grafico precedente si trovavano al di fuori della soglia limite di temperatura (19°C-26°C) ora si trovino all'interno di questa. Dal grafico emerge però che una buona percentuale di punti è ancora rimasta all'esterno del campo di accettabilità: questo andamento è giustificato dal fatto che l'impianto viene azionato solo stagionalmente, mentre nella mezza stagione non viene effettuato nessun tipo di controllo meccanico, quindi è legato alle sole dinamiche del sistema edificio. In tali periodi intermedi, dal 16 aprile al 31 maggio e dall'1 settembre al 14 ottobre, infatti, possono verificarsi giornate in cui le temperature sono inferiori o superiori rispetto a quelle fissate.
Per quanto riguarda i valori di umidità relativa, invece, la totale assenza del suo controllo in ambiente causa, con la sola variazione della temperatura, un aumento delle fluttuazioni di umidità relativa: RH tende a diminuire nella stagione invernale e a crescere nella stagione estiva.
Volendo effettuare un controllo anche su questo parametro, si ipotizza dunque di variare il tipo di impianto, passando da un sistema ad acqua ad uno a tutt'aria (c). Come è evidente dalla lettura del grafico, questa volta le condizioni di T ed RH sono completamente soddisfatte: l'impianto, costantemente in funzione durante l'arco dell'anno, consente di fissare i valori minimi e massimi di temperatura ed umidità relativa che si desiderano mantenere in ambiente. In questo caso tutti i dati ottenuti dalla simulazione ricadono all'interno del range di accettabilità richiesto per la conservazione.
Tale tipo di analisi permette di comprendere quali strategie utilizzare per ottenere i livelli di qualità microclimatica richiesti dalle normative grazie all'inserimento di sistemi di controllo parziale, come quello ad

acqua, o totale, come quello a tutt'aria.
La stessa operazione effettuata per la tipologia di involucro appena illustrata è stata ripetuta per tutte le differenti combinazioni precedentemente indicate (Tab. 4). I risultati ottenuti dalle simulazioni, riassunti nella tabella 5, evidenziano l'effetto positivo degli impianti nel tentativo di ottenere un valore di PI che si avvicini il più possibile al 100%, in modo da soddisfare elevate attese di qualità termoigrometrica richieste. Dalla tabella emerge come sia in assenza di impianto di controllo sia con un impianto ad acqua che permette il solo mantenimento dei valori di temperatura, il Performance Index cresce con l'aumentare della capacità termica dell'involucro edilizio. È interessante però notare come a parità di tipologia di sistema impiantistico simulato in ambiente non vi siano sostanziali differenze tra i PI degli involucri isolati ed ermetici e i PI degli involucri poco isolati e molto permeabili all'aria (Tab. 5); ovviamente, le differenze tra le tipologie di involucri simulati si manifestano al momento in cui si valutano i fabbisogni energetici e i relativi costi necessari per ottenere tali prestazioni.

TABELLA 5 - PI di temperatura ed umidità relativa nelle diverse configurazioni di involucro, simulate in assenza di impianto, in presenza di impianto ad acqua ed in presenza di impianto a tutt'aria.

PI	Involucro isolato e poco permeabile			Involucro non isolato e permeabile		
	Leggero	Medio	Pesante	Leggero	Medio	Pesante
Senza impianto	12%	13%	15%	3%	4%	5%
Impianto ad acqua	35%	37%	40%	35%	38%	47%
Impianto ad aria	100%	100%	100%	99%	100%	100%

Costi energetici ed ambientali per la conservazione

Le differenze tra le varie tipologie di involucro e di impianti che si possono inserire in un edificio influenzano notevolmente i fabbisogni di energia primaria che vengono richiesti per consentire il raggiungimento di specifiche condizioni microclimatiche in ambiente.
Se per esempio si volessero soddisfare i requisiti di controllo termoigrometrico richiesti da ASHRAE per la classe AA (Tab. 2), è indispensabile utilizzare un impianto in grado di garantire in ambiente il controllo puntuale sia della temperatura sia dell'umidità relativa. Allo stesso tempo, le simulazioni effettuate dimostrano che è possibile ottenere il raggiungimento delle condizioni termo igrometriche predefinite per la classe AA con tutte le tipologie di involucri simulati con l'impianto ad aria (Tab. 5), ma, di conseguenza, i costi energetici ed ambientali da sostenere crescono con il diminuire delle prestazioni dell'involucro: tanto

meno l'ambiente è ermetico ed isolato dal punto di vista termico tanto più aumenteranno i costi energetici. In realtà, osservando le condizioni di conservazione dei beni storico-artistici riportate dalla norma UNI 10829 emerge che un controllo rigido delle grandezze climatiche e delle loro fluttuazioni a breve termine e stagionali così come definito dalla classe AA di ASHRAE (Tab. 2) non è necessario per molte tipologie di opere: in tabella 1, dove si possono osservare i valori di riferimento per alcune tipologie di beni, risulta che solo alcune delle categorie di opere richiedono tale controllo che richiede grandi spese energetiche.

Analisi delle domande energetiche

Al fine di dimostrare quanto detto in precedenza, si sono effettuate delle simulazioni per le sei differenti tipologie di involucro esaminate, a cui sono stati applicati in un caso un impianto ad acqua, per il solo controllo della temperatura e, in un secondo caso, un impianto a tutt'aria, per il controllo sia di temperatura che di umidità relativa. Per ogni caso si sono valutate le richieste energetiche (Fabbisogni Ambientali) per il mantenimento di determinati valori temoigrometrici e, conseguentemente, si sono valutate le richieste, di elettricità e gas (Fabbisogni Energetici), necessarie agli impianti per soddisfare i fabbisogni ambientali. Questi ultimi, moltiplicati per appositi fattori di conversione che considerano i costi di estrazione, trasporto e produzione dell'energia [19], hanno permesso di ricavare i valori di Energia Primaria richiesta dal sistema edificio-impianto.

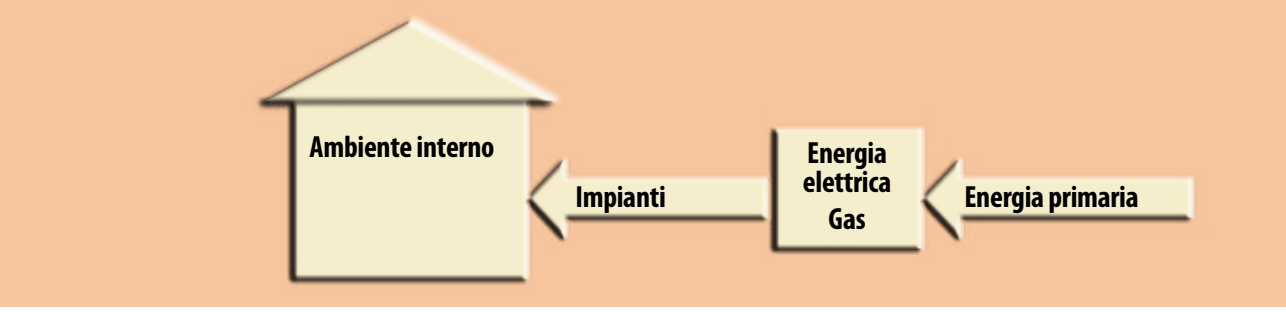


FIGURA 4 - Processo di conversione dell'energia primaria per gli usi finali del sistema edificio-impianto.

Fissando come riferimento un rendimento di generazione medio stagionale del generatore (η) pari a 90 e un COP (Coefficient of Performance) medio sul periodo di lavoro del gruppo frigorifero uguale a 3.2, è stato possibile calcolare i fabbisogni di energia primaria annuale, sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, degli ambienti caratterizzati dalle varie tipologie di involucro considerate. La stessa operazione è stata effettuata sia per gli impianti a tutt'aria (Tab. 6), che per gli impianti ad acqua (Tab.7).

Come si può leggere dalla tabella 6, infatti, l'energia primaria richiesta, per i due casi A e B precedentemente introdotti, assume valori molto differenti: l'involucro leggero, non isolato e permeabile ha un valore di energia primaria richiesta che supera di più del 33% il valore di riferimento fissato per l'edificio con involucro leggero, isolato e poco permeabile. Al contempo, prendendo sempre lo stesso edificio a confronto, un involucro pesante, isolato e poco permeabile all'aria consente ad un edificio di avere una richiesta di energia primaria per la climatizzazione inferiore del 3.6%.
In generale si può osservare che le differenze fra i due tipi d'involucro sono meno marcate nel caso dei fabbisogni di energia per il raffrescamento rispetto a quelli richiesti per il riscaldamento: questo è dovuto al fatto che la differenza di temperatura tra ambiente esterno ed ambiente interno, in periodo estivo, è quasi trascurabile rispetto alla differenza di temperatura che si ha invece in periodo invernale. Conseguentemente le quote di dispersione incidono poco in periodo estivo.
Scendendo con la precisione nel controllo delle grandezze termo-igrometriche (classi B o C, ASHRAE) i fabbisogni energetici tendono a diminuire.
Le classi B e C sono trattate insieme in quanto, per essere soddisfatte, necessitano della stessa tipologia impiantistica (impianto ad acqua: riscaldamento e/o raffrescamento), ma di differenti intervalli di accettabilità.

TABELLA 6 - Fabbisogno annuale ambientale ed energetico, per il riscaldamento e per il raffrescamento, per i sei tipi di involucro simulati, nell'ipotesi di un impianto a tutt'aria.

Impianto ad aria		Involucro isolato e poco permeabile			Involucro non isolato e permeabile		
		Leggero	Medio	Pesante	Leggero	Medio	Pesante
Fabbisogno Ambientale	Energia richiesta per il riscaldamento [kWh/m^2]	10.3 (rif.)	9.8 (-4.85%)	9.4 (-8.7%)	32.9 (+219%)	29.7 (+188%)	14.5 (-21.6%)
	Energia richiesta per il raffrescamento [kWh/m^2]	18.5 (rif.)	18.1 (-2.2%)	17.9 (-3.2%)	17.2 (-7%)	14.5 (-21.6%)	10.7 (-13.7%)
Fabbisogno Energetico	Elettricità - HVAC [kWh/m^2]	12.4 (rif.)	12.1 (- 2.4%)	11.9 (- 4%)	14 (+12.9%)	11.4 (-8%)	60.8 (+8%)
	Elettricità per il raffrescamento [kWh/m^2]	56.3 (rif.)	55.1 (-2.1%)	54.8 (-2.7%)	67.6 (+20%)	60.8 (+8%)	27.6 (-7.4%)
	Gas per il riscaldamento [kWh/m^2]	29.8 (rif.)	28.4 (-4.7%)	27.6 (-7.4%)	63.9 (+114.4%)	54.2 (+81.8%)	51.9 (+74.5%)
	Energia Primaria [kWh/m^2]	256.25(rif.)	249.63 (-2,6)	246.97 (-3.6%)	343.13 (+33.9%)	300.42 (+17.2%)	295.09 (+15.2%)

Le simulazioni hanno inoltre permesso di rilevare che le due classi (B e C) vengono rispettate solo dagli involucri isolati e poco permeabili e, in particolare, la classe B solo dagli involucri di tipo medio e pesante.

TABELLA 7 - Fabbisogno ambientale ed energetico, per il riscaldamento e per il raffrescamento, per i sei tipi di involucro simulati, nell'ipotesi di un impianto ad acqua.

Impianto ad acqua		Involucro isolato e poco permeabile		
		Leggere	Medio	Pesante
Fabbisogno Ambientale	Energia termica per il riscaldamento [kWh/m^2]	20.7 (rif.)	20.2 (-2.41%)	19.6 (-8.7%)
	Energia termica per il raffrescamento [kWh/m^2]	9.8 (rif.)	9.4 (-4%)	9 (-8.2%)
Fabbisogno Energetico	Energia elettrica per il raffrescamento [kWh/m^2]	11.9 (rif.)	11.6 (-2.5%)	11.1 (-6.7%)
	Gas per il riscaldamento [kWh/m^2]	20.7 (rif.)	20.2 (-2.41%)	19.6 (-5.3%)
	Energia Primaria [kWh/m^2]	65.52 (rif.)	63.90 (-2.5%)	61.51 (-6.1%)

Figura 5

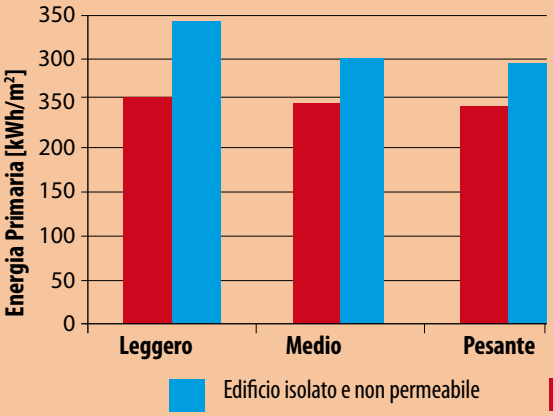
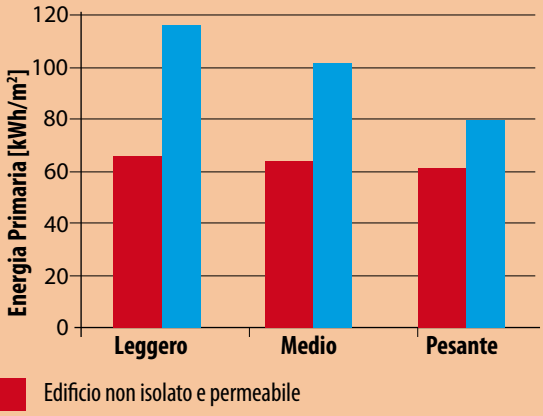


Figura 6



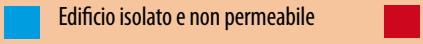


FIGURA 5 - Fabbisogno di energia primaria con impianto a tutt'aria attivo tutto l'anno
FIGURA 6 - Fabbisogno di energia primaria con impianto ad acqua attivo nella stagione di riscaldamento e raffrescamento

Anche con l'impianto ad acqua le richieste di energia per il controllo della temperatura, in particolare per il riscaldamento invernale, rimangono naturalmente maggiori per le tipologie d'involucro che disperdono di più in termini d'isolamento e di infiltrazioni (Fig. 6). Dal grafico in figura 7, riportante il fabbisogno di energia primaria per gli involucri molto isolati ed ermetici all'aria, si legge come il consumo di un impianto ad aria primaria sia notevolmente maggiore rispetto al corrispondente fabbisogno necessario per un semplice impianto ad acqua. Nel caso di un involucro leggero, infatti, si passa da una richiesta di energia primaria pari a circa 65 kWh/m2 per un impianto ad acqua, ad una richiesta di circa 255 kWh/m2 nel caso di un impianto a tutt'aria.
I fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento scendono poi fino all'ultima categoria ASHRAE, classe D: qui sono pari a zero, poiché non solo non si tiene in considerazione la presenza di impianti, ma non sono garantite soddisfacenti condizioni di comfort.

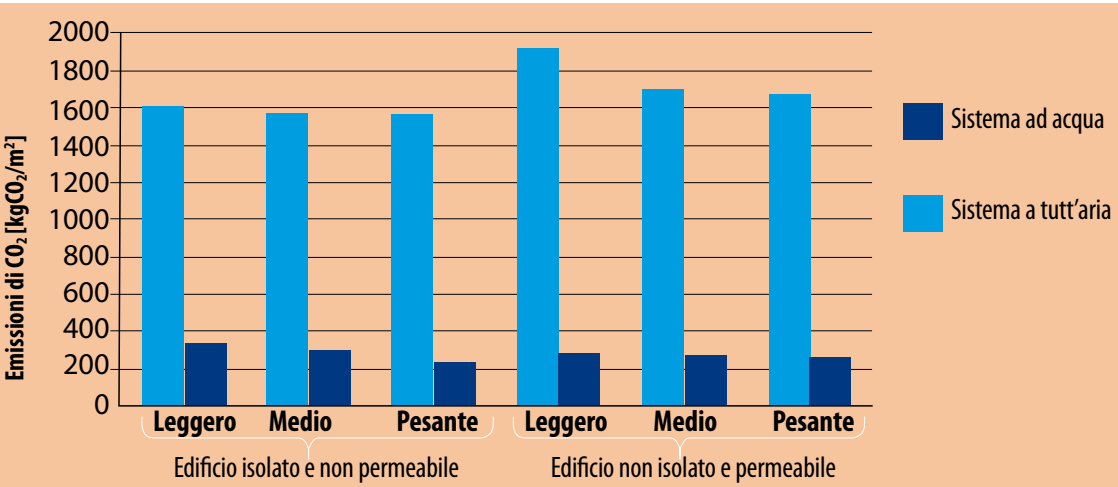


FIGURA 7- Fabbisogno di energia primaria per tipi di involucro isolati e non permeabili.

Analisi degli impatti ambientali

La valutazione energetica si rispecchia anche nel relativo quadro di "Impatto ambientale" caratterizzato dalle emissioni in ambiente di anidride carbonica. La determinazione dell'impatto ambientale è stata effettuata trasformando i kWh/m2 di energia primaria in kg di CO2/m2 tramite gli opportuni fattori di conversione, pari a 0.277 kg/kWh per il Gas e 0.617 kg/kWh per l'Elettricità [19]. Anche in questo caso i valori relativi alle emissioni di anidride carbonica in ambiente sono più elevati per gli involucri con minore isolamento termico e minore tenuta all'aria e per gli ambienti simulati con l'impianto ad aria primaria (Fig. 7).

Le classi che richiedono l'impiego degli impianti meccanici per un controllo parziale o totale del microclima saranno dunque quelle che avranno maggior impatto ambientale, poiché maggiore è il loro fabbisogno di energia per soddisfare i requisiti di controllo termo-igrometrico richiesti.

In figura 8 sono rappresentate le emissioni di CO2, riferite alla superficie utile di pavimento, derivanti dal controllo microclimatico indoor delle varie tipologie degli ambienti simulati, combinate a differenti sistemi di controllo termoigrometrico. Analizzando il caso dell'edificio leggero, isolato e poco permeabile, si può leggere come l'emissione di CO2 passi da un valore di circa 345 kgCO2/m2 con un impianto ad acqua ad un valore 1610 kgCO2/m2 con un impianto a tutt'aria. Esattamente come accadeva per l'energia primaria (Fig.6), passare da un sistema di controllo ad acqua ad uno a tutt'aria non solo aumenta, ma addirittura quadruplica le emissioni.

L'energia primaria richiesta da un sistema ad acqua risulta minore del

75% circa rispetto a quella del sistema ad aria per ottenere il controllo climatico che si esige in ambiente con scarsa dipendenza dalle caratteristiche dell'involucro.
La figura 9 mostra i risultati finali dell'analisi di simulazione numerica,

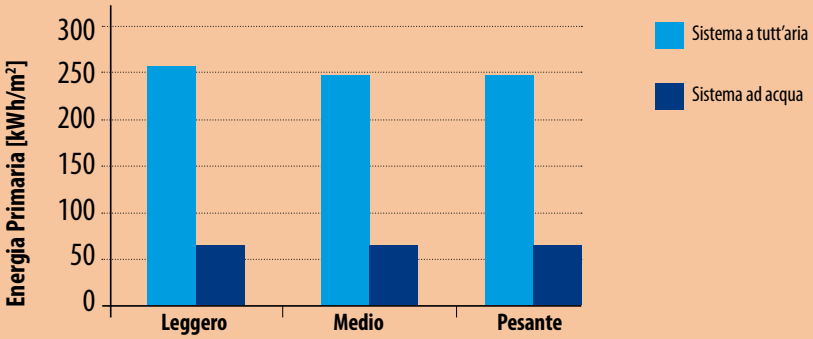


FIGURA 8 - Impatto ambientale delle differenti tipologie di involucro simulate

facendo emergere il sensibile incremento della domanda di energia primaria e di emissioni di CO2 con l'incremento del controllo climatico delle classi ASHRAE.
In particolare, dalla figura risulta una riduzione apprezzabile passando dalla classe AA (sistema ad aria) dove il range di accettabilità è molto stretto (T= ± 2°C R.H.= ± 5%) e, di conseguenza, la domanda di energia primaria è molto alta: vengono richiesti infatti in media 201 kWh/m2 , alla classe A (sempre con sistema ad aria) ma con un intervallo di tolleranza più ampio (T= ± 2°C R.H.= ± 10%) : la domanda di energia primaria scende a -11% (185 kWh/m2). Come il sistema impiantistico cambia in impianto ad acqua, dove si abbandona il controllo dell'umidità relativa, questa percentuale diminuisce in modo importante: in -67% per il riscaldamento invernale ed il raffrescamento estivo (classe B) e -88% per il solo riscaldamento invernale (classe C).
Allo stesso tempo, il passaggio dalle classi ASHRAE più alte a quelle più basse riduce di conseguenza anche le emissioni di CO2 in ambiente: 747 kg CO2/ m2 per il controllo climatico della classe AA, 686 kg CO2/ m2 (- 11%) in classe A, 305 kg CO2/ m2 (- 62%) in classe B and solo 185 kg CO2/ m2 (- 77%) in classe C.
Osservando tali dati, dunque si ritiene opportuno ricorrere ad un rigido controllo climatico in ambiente solo per le opere che non possono prescindere da un suo utilizzo ai fini della conservazione. Per contenere i costi sia energetici sia ambientali, infatti, la classe di controllo AA trova il suo miglior impiego nelle vetrine e teche museali, mentre si devono prediligere le classi A e B per le sale espositive.

L'analisi condotta ha permesso di fare le seguenti considerazioni:

- in assenza di impianto la qualità dell'involucro, in termini di isolamento e permeabilità, è notevolmente influente nel calcolo del potenziale risparmio energetico di un edificio;
- a parità di involucro i costi energetici, così come gli impatti ambientali, aumentano proporzionalmente alla qualità termoigrometrica attesa in ambiente;
- vi deve essere una piena razionalizzazione dei consumi in base agli obiettivi di controllo climatico definiti.

SIMBOLI: PI Indice di prestazione
RH umidità relativa dell'aria
T temperatura dell'aria

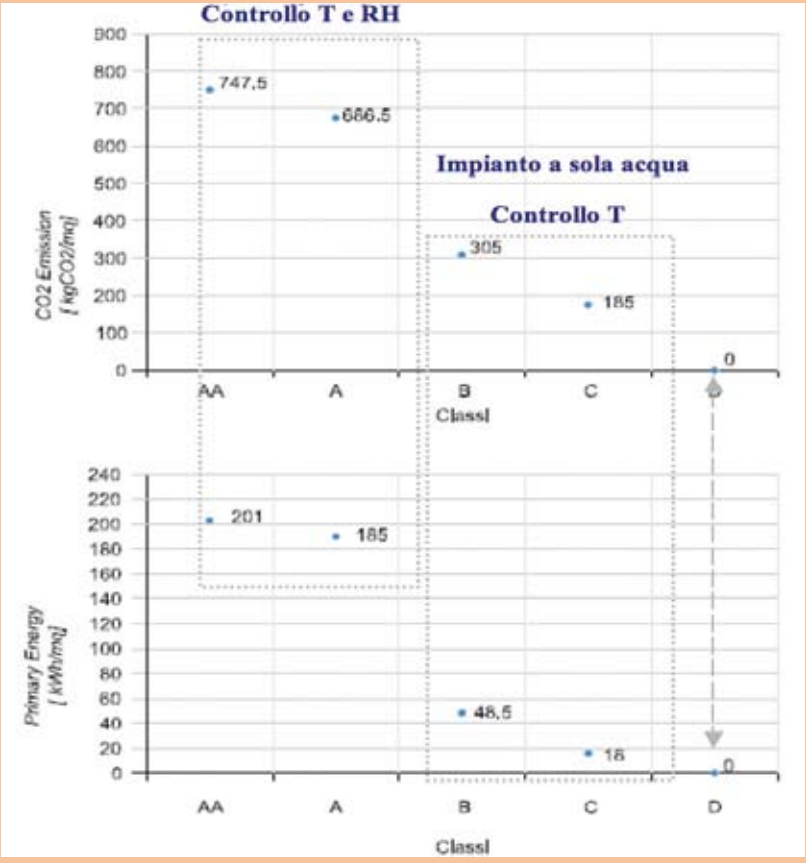


FIGURA 9 - Relazione tra energia primaria, emissioni di CO_2 e classi di controllo climatico ASHRAE

Non in tutti i luoghi di conservazione è necessario raggiungere la migliore classe di controllo termoigrometrico. A seconda delle attese di qualità devono essere valutate le migliori soluzioni impiantistiche e di involucro tali da ridurre al massimo i consumi energetici garantendo però le condizioni termoigrometriche richieste per la conservazione.

BIBLIOGRAFIA

1. Thomson G., The museum environment, , p.293, Buttherworths, London, 1986
2. Camuffo D., Microclimate for cultural heritage, p. 415, Elsevier, Amsterdam, 1998
3. Camuffo D. Bernardi A., Microclimate in the Chiericati Palace Municipal Museum, Vicenza, Museum Management and Curatorship, March 1995
4. Pavlogeorgatos G., Environmental parameters in museums, Building and Environment, December 2003
5. Jeong Jae-Hoon, Lee Kyung- Hoon,The physical environment in museums and its effects on visitors' satisfaction, Building and Environment, July 2006
6. Gysels K., Dalalieux F., Deutsch F., Van Griecken R., Camuffo D., Bernardi A., Sturaro G., Busse H., Wieser M., Indoor environment and conservation in the Royal Museum of fine arts, Antwerp, Belgium, Journal of cultural heritage, April- June 2004
7. UNI, 1999, Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi. Italian Standard UNI 10829
8. Ministero per i beni e le attività culturali, D.M. 10.5.2001 Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei, Italian Minister Degree G.U. n. 238, 19.10.2001
9. Unesco, Museum architecture beyond the "temple" and.. beyond, Museum published by Unesco n. 4 1989
10. CEN European Committee for Standardisation, Indoor environmental parameters for assessment of energy performance of buildings, addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Standard EN15251, 2007
11. ASHRAE, Museum, libraries, and archives, ASHRAE Applications book (SI), chapter 20, 2007
12. Filippi M., Corgnati S., Ansaldi R., Certification of indoor environmental quality: application of a classification method to a case study, Climamed International Conference 2006, Lyon, settembre 2006
13. Fabi V.,"Qualità microclimatica degli ambienti museali: dal monitoraggio al progetto", relatori Filippi M., Corgnati S.P., Tesi di laurea magistrale in Architettura, Politecnico di Torino, 2008
14. Camuffo D., Brimblecombe P., Van Grieken R., Busse H., Sturaro G., Valentino A., Bernardi A., Blades N., Shooter D., De Bock L., Gysels K., Wieser M., Kim O., Indoor air quality at the Correr Museum, Venice, Italy, The Science of total environment, September 1999
15. Camuffo D., Brimblecombe P., Van Grieken R., Busse H., Sturaro G., Valentino A., Bernardi A., Blades N., Shooter D., De Bock L., Gysels K., Deutsch F., Wieser M., Kim O., Ulrich U., Environmental monitoring in four European Museums, Atmospheric Environment, April 2001
16. Camuffo D., Bernardi A., Controlling the microclimate and particulate mater inside the Historic anatomy theatre, Padua, Museum Management and Curatorship, September 1996
17. Energy Plus Energy Simulation Software, versione 3.1. (free download: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/ energyplus/)
18. Corgnati S.P., Filippi M., Perino M., A new approach for the IEQ (Indoor Environment Quality) assessment, Research in Building Physics and Building Engineering, Proceeding of 3rd International Conference on Research in Building Physics IBPC 2006, Montreal, August 2006
19. EN, 2007. Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings. EUROPEAN STANDARD EN 15603

PROFILO DEGLI AUTORI

Chiara Bonvicini

Chiara Bonvicini, laureata in Scienza e Tecnologia per i Beni Culturali presso l'Università degli Studi di Torino, è attualmente titolare di una borsa di studio presso il Politecnico di Torino. Svolge attività di ricerca sui temi della conservazione delle opere d'arte in ambienti museali e della valutazione delle prestazioni di contenitori per l'esposizione, il deposito e il trasporto. Dal 2007 collabora con la società di consulenza e ricerca applicata Onleco s.r.l., di Torino, come esperta di monitoraggio ambientale a fini conservati e di piani di conservazione preventiva. .

Stefano Paolo Corgnati

Stefano Paolo Corgnati, laureato con lode in Ingegneria Meccanica e dottore di ricerca in Energetica, è Ricercatore di ruolo di Fisica Tecnica Ambientale presso il Politecnico di Torino, dove insegna nella prima Facoltà di Architettura. È autore di numerose pubblicazioni tecniche e scientifiche; la sua attività di ricerca, è focalizzata sui temi della climatizzazione, della valutazione soggettiva ed oggettiva di comfort ambientale e dello studio dei consumi energetici negli edifici esistenti. Una specifica tematica di ricerca riguarda la qualità microclimatica e i consumi energetici negli ambienti museali, esaminati sia attraverso monitoraggi in campo che simulazioni numeriche.

Valentina Fabi

Valentina Fabi, laureata in Scienze dell'Architettura presso l'Università degli Studi di Firenze, ha conseguito la laurea Magistrale in Architettura presso il Politecnico di Torino. Attualmente dottoranda in "Innovazione tecnologica per l'ambiente costruito" presso il Politecnico di Torino, svolto attività di ricerca sui temi della valutazione della qualità microclimatica negli ambienti interni, con particolare riferimento all'analisi delle prestazioni degli involucri edilizi in ottica di risparmio energetico.

Marco Filippi

Marco Filippi, ingegnere, è professore ordinario di Fisica Tecnica Ambientale presso il Politecnico di Torino, dove insegna nella I Facoltà di Architettura ed è coordinatore del Dottorato di ricerca "Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito".

Autore di oltre trecentocinquanta pubblicazioni a carattere scientifico, didattico e divulgativo nel Dipartimento di Energetica guida un gruppo di ricercatori che opera nei settori dell'uso razionale dell'energia, delle tecnologie edilizie ed impiantistiche per i condizionamenti ambientali, dell'illuminotecnica e dell'acustica (www.polito.it/tebe).

Già membro del gruppo di lavoro ministeriale per la redazione dell'Atto di Indirizzo sui criteri tecnico scien-

tifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei italiani (D.M. 10 maggio 2001) e attualmente fa parte della Cabina di Regia istituita dalla Regione Piemonte per la definizione e l'applicazione delle procedure di accreditamento per il sistema museale piemontese. Rappresenta il Politecnico di Torino nel consiglio di amministrazione del Centro per la Conservazione ed il Restauro dei Beni Culturali "La Venaria Reale"
Dall'ottobre 2004 è direttore scientifico della società di consulenza e ricerca applicata Onleco s.r.l., nata nell'Incubatore di Imprese Innovative del Politecnico di Torino (www.onleco.com).

Marco Perino
Marco Perino, ingegnere è professore ordinario di Fisica Tecnica Ambientale presso il Politecnico di Torino dove insegna nella I Facoltà di Ingegneria.
É titolare dell'insegnamento di "Principi e tecniche del controllo ambientale" nei corsi di studi "Scienza e Tecnologia per i Beni Culturali e Restauro" presso l'Università di Torino. L'attività di ricerca in ambito museale è focalizzata sui seguenti temi: problematiche legate alla ventilazione di grandi spazi confinati, sistemi di ventilazione naturale ed ibridi, monitoraggio e controllo del microclima in ambienti museali, analisi termofluidodinamica di contenitori museali.
È membro del gruppo "ISIAQ Task Force – Working group 21" che si occupa dell'analisi e controllo del microclima all'interno degli ambienti museali e ha fatto parte dei Comitati Scientifici di numerosi congressi internazionali.

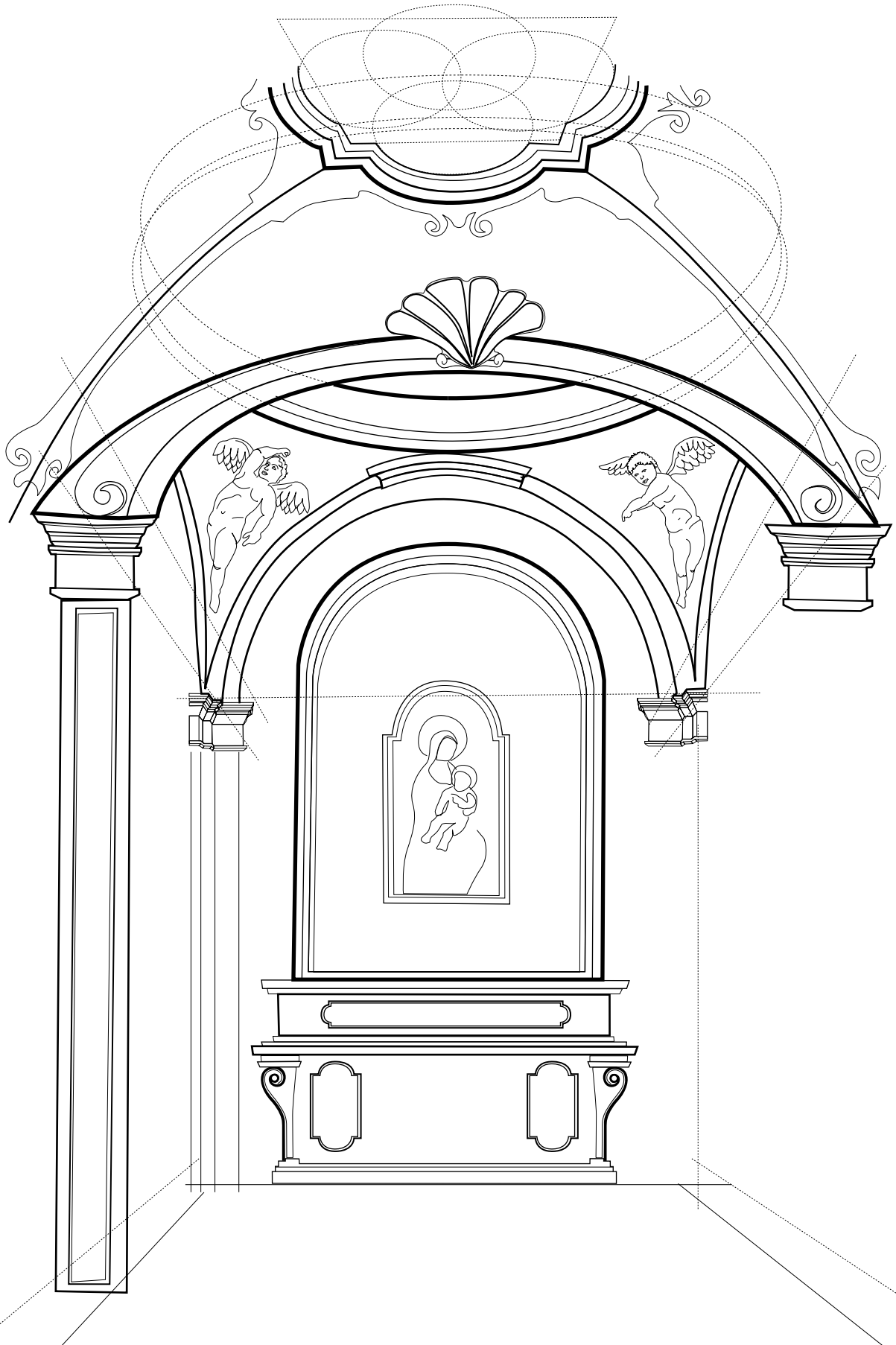
È autore di oltre 100 pubblicazioni a carattere scientifico su riviste nazionali e internazionali e su atti di congressi nazionali ed internazionali.

Daniela Raimondo

Daniela Raimondo, laureata in Architettura presso il Politecnico di Torino, è attualmente dottoranda in Innovazione Tecnologica dell'Ambiente Costruito presso il Politecnico di Torino. La sua attività di ricerca riguarda la valutazione della qualità termica degli ambienti confinati in relazione ai consumi energetici. Tale attività viene sviluppata attraverso campagne di misurazione (monitoraggi) e sviluppo di modelli di simulazione energetica.

Michela Rota

Michela Rota, architetto, laureata con il massimo dei voti presso la I Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino con una tesi riguardante la valutazione delle strutture museali, è attualmente assegnista di ricerca presso il Politecnico di Torino. Svolge attività di ricerca nell'ambito dei beni culturali con riferimento a temi di valorizzazione e metodologie per l'analisi degli edifici museali. Ha collaborato, per la Regione Piemonte, alla stesura degli standard museali per l'ambito "Strutture e Sicurezza". Come architetto libero professionista si occupa in particolare di rifunzionalizzazione ed allestimento museale. Dal 2005 collabora con la società di consulenza e ricerca applicata Onleco s.r.l. di Torino come esperta di gestione delle strutture museali.



finito di stampare luglio 2010