

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Dottorato di Ricerca Interpolo in

CONSERVAZIONE INTEGRATA DEI BENI CULTURALI ED AMBIENTALI

XVIII ciclo – 2002/2005

Tema di ricerca:

CONDIZIONI MICROCLIMATICHE E DI QUALITÀ DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI MUSEALI

Tutor
prof. **Pietro Mazzei**

Dottoranda
ing. **Vanessa D'Agostino**

Coordinatore
prof. **Giovanna Greco**

*“non si vede bene che col cuore.
l'essenziale è invisibile agli occhi”*

Antoine de Saint-Exupéry

INDICE

Capitolo		Pagina n.
1	LA CONSERVAZIONE	1
1.1	LA PROBLEMATICA	1
1.2	LE PROFESSIONALITÀ MUSEALI	2
1.2.1	Ambito ricerca, cura e gestione delle collezioni	3
1.2.2	Ambito amministrazione, finanza, management e comunicazione	7
1.2.3	Ambito servizi e rapporti con il pubblico e con il territorio	7
1.2.4	Ambito strutture, allestimenti e sicurezza	8
1.3	LA QUALITÀ DEL SISTEMA MUSEALE	8
1.4	PROBLEMATICHE TECNICO-SCIENTIFICHE	10
1.5	LA CONSERVAZIONE PREVENTIVA DELLE RACCOLTE MUSEALI	13
1.6	IL MUSEO “ATTUALE”	18
2	ANALISI E CONTROLLO DEL MICROCLIMA	24
2.1	IL DEGRADO DEI BENI CULTURALI	24
2.2	IL RUOLO DEI PARAMETRI TERMOIGROMETRICI NEL DEGRADO DEI BENI CULTURALI	24
2.2.1	Meccanismi di deterioramento	26
2.2.1.1	Meccanismi di tipo fisico	27
2.2.1.2	Meccanismi di tipo chimico	29
2.2.1.3	Meccanismi di tipo biologico	30

Capitolo	Pagina n.
2.3 IL RUOLO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL DEGRADO DEI BENI CULTURALI	30
2.3.1 Le sorgenti di inquinanti nei musei	31
2.3.2 Gli inquinanti presenti nei musei	32
2.3.2 .1 Gli ossidi di carbonio	33
2.2.1 .2 I derivati dello zolfo	35
2.2.1 .3 L'ozono	37
2.2.1 .4 Gli alogeni	39
2.2.1 .5 I Composti Organici Volatili (VOC)	39
2.2.1 .6 Il particolato aerodisperso	40
2.2.1 .7 I contaminanti biologici	42
2.2.1 .8 I valori consigliati per le concentrazioni di contaminanti in ambiente museale	47
2.2.1 .9 I danni subiti dall'oggettistica museale a seguito della presenza di inquinanti	48
2.4 UN ESEMPIO DI INTERAZIONE TRA LE CAUSE DI DEGRADO: LA CORROSIONE DEI MATERIALI METALLICI	54
2.5 LA SCELTA DEI PARAMETRI AMBIENTALI	55
2.5.1 I valori termoigrometrici consigliati	56
2.5.2 Le condizioni microclimatiche per la prevenzione di attacchi microbiologici	80
2.5.2 Valori termoigrometrici critici per la conservazione di alcuni manufatti	81
2.6 MONITORAGGIO AMBIENTALE: PROPOSTA DI UN PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE	82
2.7 IL PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE	83
2.7.1 La Fase I: Acquisizione delle informazioni relative all'ambiente museale	84

Capitolo		Pagina n.	
	2.7.1.1	Caratterizzazione dell'edificio	86
	2.7.1.2	Inventario delle potenziali sorgenti d'inquinamento dell'aria interna	86
	2.7.1.3	Impianto di climatizzazione	87
	2.7.2	La Fase II: Esame dello stato di conservazione degli oggetti esposti	88
	2.7.2 .1	Caratterizzazione degli oggetti	88
	2.7.1 .2	Stato di conservazione	89
	2.7.3	La Fase III: Elaborazione delle check list	89
	2.7.4	La Fase IV: Indagine sperimentale	90
	2.7.5	La Fase V: Controlli specialistici mirati	90
	2.7.6	Risultati e ipotesi di intervento	91
2.8	IL RUOLO DELLA FISICA APPLICATA NELLA CONSERVAZIONE		93
2.9	CONCLUSIONI		95
3	LE VETRINE MUSEALI		97
	3.1	LE FUNZIONI DELLE VETRINE MUSEALI	97
	3.2	LE PRESTAZIONI RICHIESTE ALLE VETRINE MUSEALI	98
	3.2.1	Il progetto di norma UNI U84000046	98
	3.2.2	Il testo del progetto di norma	99
	3.2.3	Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standards di funzionamento e sviluppo dei musei	115
	3.3	IL CONTROLLO DEL MICROCLIMA NELLE VETRINE MUSEALI	116
	3.3.1	Sistemi attivi e passivi per il controllo delle condizioni termoigrometriche	116

Capitolo		Pagina n.
	3.3.1.1 Stabilizzatori di umidità: i materiali igroscopici	118
	3.3.2 Aspetti di misura delle prestazioni di tenuta nelle teche espositive	126
	3.3.2.1 Metodo del decadimento della concentrazione di un gas tracciante	129
4	PROVE EFFETTUATE	133
4.1	PROVE EFFETTUATE IN LABORATORIO	133
4.1.1	Prove di tenuta su vetrina esistente	133
	4.1.1.1 Descrizione della prova	133
	4.1.1.2 Risultati della prova	134
4.1.2	Prove attualmente in corso	136
	4.1.2.1 Descrizione della apparecchiatura strumentata	137
	4.1.2.2 Descrizione delle prove	137
	4.1.2.3 Risultati delle prove	138
4.1.3	Curve di adsorbimento e deadsorbimento del silicagel	139
	4.1.3.1 Descrizione della prova	139
4.1.4	Ricristallizzazione di un sale in soluzione satura sulle pareti del contenitore	141
	4.1.4.1 Descrizione della prova	141
	4.1.4.2 Risultati della prova	141
4.2	PROVE EFFETTUATE IN CAMPO NEL MUSEO ARCHEOLOGICO NAZIONALE DI NAPOLI	143
	4.2.1.1 Descrizione della prova	143
	4.2.1.2 Risultati della prova	143
4.3	PROVE EFFETTUATE I CAMPO NEL MUSEO ARCHEOLOGICO NAZIONALE DI PAESTUM	145

Capitolo		Pagina n.
4.3.1	Il Museo Archeologico Nazionale di Paestum	145
4.3.2	Le collezioni oggetto dell'indagine	145
4.3.2.1	Prove di tenuta in vetrine	146
4.3.2.2	Monitoraggio ambientale	151
4.3.3	Inquinanti	191
4.3.3.1	Valori misurati il 13/02/04 sala Argenti	191
4.3.3.2	Valori raccomandati per le sostanze inquinanti negli ambienti museali	191
4.3.3.3	Risultati della campagna di misure per gli inquinanti gassosi	192
4.3.3.4	Risultati della campagna di misure per il particolato	192
5	LA NORMATIVA	198
5.1	IMPORTANZA E RUOLO DELLA STANDARDIZZAZIONE	198
5.2	ELENCO NORME E LINEE GUIDA	200
5.3	LE NORME UNI SUL MICROCLIMA	219
5.3.1	Il ruolo della fisica applicata nella conservazione in ambienti confinati	219
5.3.2	La normativa di settore	221
5.4	LA NORMA UNI 10829	226
5.5	LA NORMA UNI 10969	228
5.6	LA NORMA UNI 11120	229
5.7	LA NORMA UNI 11131	230
5.8	CONCLUSIONI	232
	GLOSSARIO	I

Capitolo		Pagina n.
SIMBOLOGIA		VI
BIBLIOGRAFIA		VIII
APPENDICE I	Bibliografia ragionata	A.I
APPENDICE II	Schede: organizzazioni museali	A.XII
APPENDICE III	Schede: produttori nel settore dei beni culturali	A.XXXVIII

1. LA CONSERVAZIONE

1.1 LA PROBLEMATICAZIONE

Di conservazione dei beni culturali si parla tanto. E se è vero che l'importanza e la capillarità del nostro patrimonio storico e artistico sono percepibili "a occhio nudo", è altrettanto vero, che tra i tanti paradossi del nostro Paese, la salvaguardia e la valorizzazione delle risorse culturali sembra il più emblematico. A fronte di tanta ricchezza di beni, di cui 39 sono inclusi nella lista del patrimonio mondiale elaborata dall'UNESCO, non sempre esiste una visione complessiva del sistema culturale, in grado di individuare le scelte e i percorsi da intraprendere per tutelare, preservare e rendere fruibile tale patrimonio che oggi, più che mai, è al centro delle problematiche legate alle forti evoluzioni che le società contemporanee devono affrontare. Evoluzioni turistiche in primo luogo, ma anche tecnologiche ed economiche che inducono ad una riflessione di fondo sui mezzi da utilizzare per affrontare questi cambiamenti.

Se il "conservare" (preservare, tutelare) definisce un approccio soggettivo, passivo o chiuso l'atto del "mostrare" (offrire, presentare) è invece caratterizzato da una gestualità attiva, pratica, aperta: questo dualismo, questa metodologia per certi aspetti antitetica, contraddistingue le principali finalità caratteristiche dell'istituzione museale. L'esigenza di coniugare questi intenti

antinomici, fornendo per quanto possibile risposte univoche ed eque, contraddistingue e coinvolge molti aspetti della vita del museo: aspetti pratici, concettuali, istituzionali, tecnici e così via. Come conciliare, ad esempio, le esigenze, potenzialmente contraddittorie tra la salvaguardia del patrimonio e sua conservazione, l'accoglienza di un pubblico che rivendica diversi livelli d'offerta culturale, il proseguimento delle attività di ricerca, il dover far fronte alla questione delle diverse legislazioni adottate nei diversi Paesi e la riduzione dei costi. Non va poi trascurato l'aspetto relativo ai consumi energetici, che vanno assolutamente ridotti o comunque razionalizzati alla luce delle vigenti normative, compresa la Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.

Tali esigenze richiedono tutte non solo una decisa professionalizzazione e specializzazione, ma anche la massima interdisciplinarietà, trasversalità e capacità di lavorare in gruppo da parte dei responsabili della conservazione.

1.2 LE PROFESSIONALITÀ MUSEALI

Nella recente “Carta Nazionale delle professionalità museali” (AA.VV., 2005) vengono appunto individuate le principali competenze e conoscenze ed indicate le diverse responsabilità e attività che le diverse professionalità del settore sono chiamate ad affrontare. La carta è rivolta a tutti i musei, siano essi pubblici o privati, indipendentemente dalle loro dimensioni, titolarità, collocazione, tipologia e specifica organizzazione. Di seguito si riportano i profili di alcune figure professionali, in particolare di quelle che, a livello dirigenziale e non, prendono decisioni e compiono azioni che in qualche modo riguardano la gestione ambientale di un museo.

Al centro della Mappa, mostrata in Figura 1.1, è collocato il **direttore**, figura garante dell'attività del museo nei confronti dell'amministrazione titolare, dei cittadini e degli organi di tutela, cui afferisce la piena responsabilità dell'attuazione del progetto culturale e scientifico del museo, della sua gestione, della conservazione, valorizzazione, promozione e godimento pubblico delle collezioni. Il direttore è presente nell'insieme dei processi di lavoro ed è il responsabile diretto e indiretto dell'intera rete di relazioni e di funzioni proprie del museo.

Relativamente alle attività controllate dal direttore, la Mappa individua quattro aree funzionali che corrispondono a quattro degli otto ambiti in cui sono ripartiti gli standard museali nel Decreto del Ministero per i Beni e le Attività Culturali del maggio 2001 (M.BB.CC. 2001):

1. ricerca, cura e gestione delle collezioni;
2. amministrazione, finanza, management e comunicazione;
3. servizi e rapporti con il pubblico e con il territorio;
4. strutture, allestimenti e sicurezza.

1.2.1 Ambito ricerca, cura e gestione delle collezioni

All'area della ricerca, cura e gestione delle collezioni, che dal punto di vista della conservazione è la più importante, fanno capo varie professionalità. Fondamentale è la figura del **conservatore**, responsabile della conservazione, della sicurezza, della gestione e della valorizzazione delle collezioni a lui affidate. Cui è assegnata la gestione del catalogo del museo (secondo gli standard nazionali e regionali), la cura delle esposizioni temporanee e dei rapporti con il territorio. Il conservatore è garante, in concorso con il direttore, dell'identità e della finalità del museo e, in mancanza del direttore, è anche il

consegnatario delle collezioni delle quali è responsabile nei confronti dell'ente proprietario.

In particolare, il conservatore:

- collabora con il direttore alla definizione degli obiettivi dell'istituto;
- è referente scientifico, all'interno del museo e verso l'esterno, delle collezioni a lui affidate;
- predispone piani di manutenzione ordinaria, di conservazione e di restauro;
- elabora i progetti di esposizione delle raccolte;
- conduce e coordina attività di ricerca scientifica;
- collabora alle attività culturali, educative e di divulgazione scientifica;
- collabora alla valorizzazione delle collezioni.

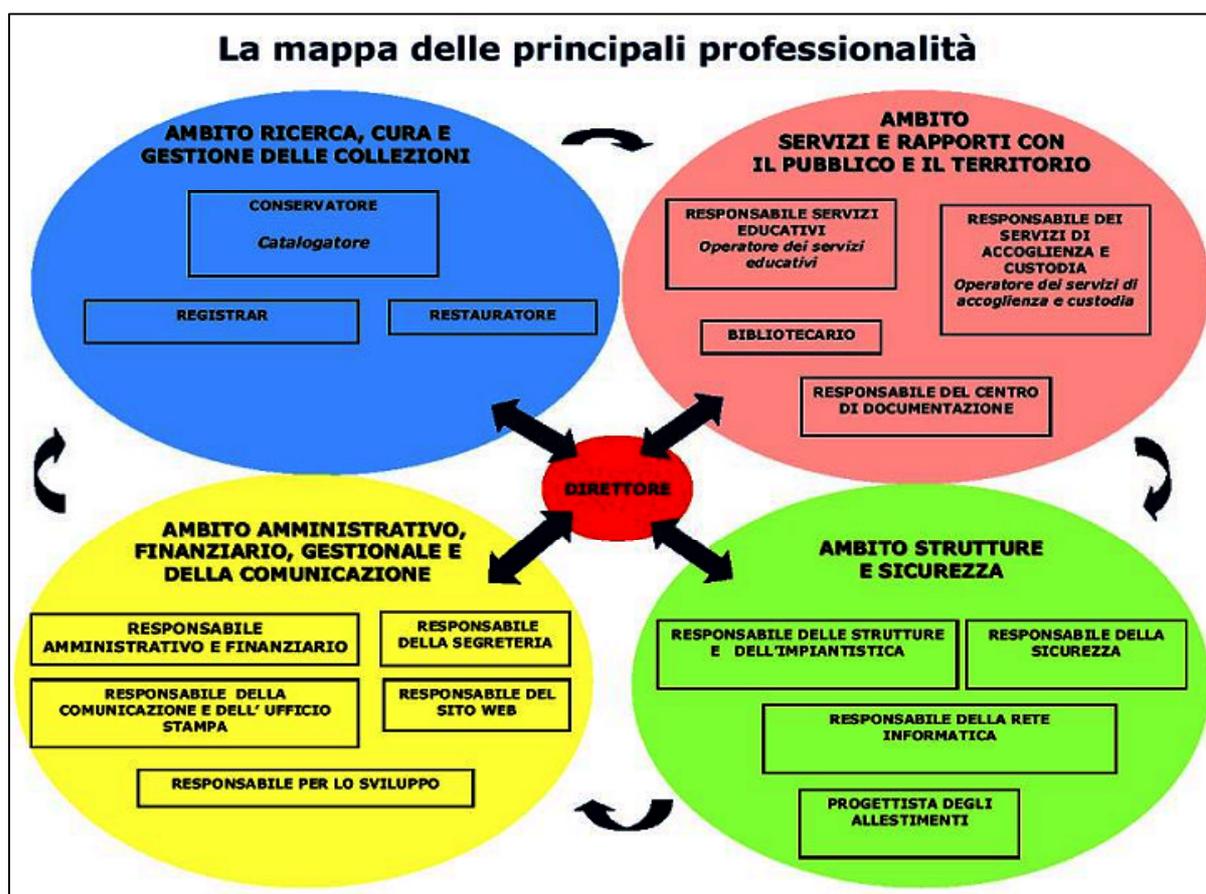


Figura 1.1 - Mappa delle principali professionalità in ambito museale

Nei musei che intendono assumere un ruolo attivo nei confronti del territorio di appartenenza e/o ricoprire il ruolo di presidio territoriale, il conservatore può assumere anche la funzione di *responsabile dei rapporti con il territorio*, i cui compiti sono:

- il coordinamento dei rapporti tra l'ente di appartenenza, gli uffici statali preposti alla tutela dei beni culturali del territorio, gli uffici regionali e le associazioni di settore, anche per la realizzazione di attività di monitoraggio;
- lo svolgimento di un'azione di vigilanza e segnalazione sui beni culturali del territorio nei confronti degli uffici tecnici territoriali e degli uffici regionali e statali;
- il costituire un riferimento territoriale per l'attività di inventariazione e catalogazione di beni culturali.

Sotto il coordinamento e la responsabilità scientifica del conservatore si svolge l'attività del *catalogatore* che consiste nello studio, l'inventariazione e la catalogazione del patrimonio museale. In particolare, il catalogatore realizza le schede di inventario e di catalogo, secondo quanto previsto dalle normative nazionali e regionali, e ne esegue l'aggiornamento.

Sempre nel primo ambito sono previste le figure professionali del *registrar* e del *restauratore*. Il primo si occupa di gestire dal punto di vista organizzativo tutto ciò che concerne la movimentazione delle opere, la relativa documentazione e le procedure che la regolano, soprattutto in relazione ai prestiti. In particolare:

- collabora con il conservatore alla definizione dei programmi di manutenzione delle opere e dei progetti espositivi;
- collabora con il responsabile della sicurezza al controllo del sistema di sicurezza e delle **condizioni termoigrometriche del museo**;

- redige, documenta ed organizza gli atti relativi all'acquisizione, alla catalogazione, al prestito, all'assicurazione, alla spedizione e alla sicurezza delle opere.

Il secondo, in base a quanto previsto dal D. Lgs. n. 42/04 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" (M.BB.CC.AA., 2004), mette in atto un complesso di azioni dirette e indirette per limitare i processi di degradazione dei materiali costitutivi dei beni culturali al fine di assicurare la conservazione di questi ultimi. In particolare:

- analizza e interpreta i dati relativi ai materiali costitutivi, alla tecnica di esecuzione ed allo stato di conservazione dei beni;
- elabora, in collaborazione con il conservatore del museo il piano di conservazione delle collezioni, ne verifica l'attuazione e la manutenzione in ordine anche alle condizioni ambientali e microclimatiche e progetta gli interventi di restauro;
- esegue direttamente i trattamenti conservativi e di restauro, dei quali ha la direzione tecnica;
- raccoglie e cura la documentazione degli interventi di restauro;
- esegue o assiste all'esecuzione di analisi diagnostiche a fini di ricerca o di pianificazione della conservazione e del restauro.

Nel caso in cui il museo non possieda collezioni permanenti o la sua attività sia basata principalmente sulla produzione di mostre temporanee, la carta prevede la figura del *curatore* che si occupa di:

- attività di ricerca scientifica, di studio, consulenza ed elaborazione;
- progettazione scientifica e realizzazione di mostre temporanee;
- verifica e controllo dell'efficacia dei progetti d'allestimento delle mostre temporanee e collaborazione alla progettazione delle attività didattiche e educative dell'evento progettato.

1.2.2 Ambito amministrazione, finanza, management e comunicazione

In questo ambito incontriamo figure professionali che non si occupano di aspetti tecnici che pertanto non vengono qui prese in considerazione.

1.2.3 Ambito servizi e rapporti con il pubblico e con il territorio

Alla terza macroarea appartengono il *responsabile dei servizi educativi* ed il *responsabile dei servizi di custodia e accoglienza*. Il primo ha il compito di progettare e coordinare attività, percorsi e progetti educativi, ed è l'interlocutore privilegiato per il mondo della scuola, per l'università e per gli istituti di ricerca preposti all'aggiornamento e alla formazione negli ambiti disciplinari di competenza. Il secondo garantisce la vigilanza del patrimonio museale all'interno dei locali espositivi ed in particolare svolge le seguenti funzioni:

- coordina i servizi di accoglienza e di prima informazione al pubblico e assicura l'apertura e la chiusura del museo nel rispetto delle norme;
- collabora e garantisce la sorveglianza degli ambienti e del patrimonio museale, segnalando eventuali cambiamenti ambientali e dello stato di conservazione delle opere;
- collabora, con il responsabile dell'impiantistica e della sicurezza, a controllare il corretto funzionamento dei dispositivi di sicurezza, antintrusione e antincendio e degli impianti previsti per il **monitoraggio microclimatico ambientale**;
- garantisce il corretto posizionamento dei materiali e delle strutture informative e di protezione delle opere all'interno delle sale espositive;
- predispone, in caso di emergenza, i primi interventi e avvisa il personale di riferimento e le autorità competenti;

- collabora con la direzione al controllo e al monitoraggio della qualità dei servizi esternalizzati.

1.2.4 Ambito strutture, allestimenti e sicurezza

Alla quarta area appartiene il *Responsabile delle strutture e dell'impiantistica* che sovrintende e assicura la gestione delle strutture e degli impianti tecnici del museo. In particolare:

- garantisce la manutenzione ordinaria e straordinaria delle strutture e degli impianti elettrici, idraulici e termici;
- conserva e aggiorna il fascicolo con gli schemi degli impianti esistenti nell'edificio e ne mantiene il registro dei controlli;
- garantisce il controllo delle condizioni termoigrometriche e ambientali del museo e predispone strumenti di misurazione;
- predispone le strutture e gli impianti necessari agli allestimenti negli spazi del museo o al suo esterno e ne sovrintende la realizzazione.
- sostiene l'amministrazione nella predisposizione di gare o procedimenti concorrenziali per la fornitura di beni e servizi relativi alle attività del settore di sua competenza;

inoltre, in ottemperanza anche a quanto previsto dal D.M. 569/1992, e dal D.L. 626/1994, ha la responsabilità delle attività volte a garantire la sicurezza delle persone e del patrimonio museale mobile e immobile, predisponendo i piani di evacuazione e di emergenza.

1.3 LA QUALITÀ DEL SISTEMA MUSEALE

La Carta Nazionale delle professionalità museali prosegue con la descrizione di altri profili professionali, tuttavia quelli riportati sono

sufficienti per evidenziare che, alla luce delle complesse funzioni del museo contemporaneo, la moderna conservazione richiede notevoli capacità strategiche e che le varie competenze operano in aree fra loro fortemente interconnesse e interagenti, in cui accade sempre più spesso che accanto al tradizionale mondo degli storici dell'arte, degli archeologi e dei restauratori si affianchino professionalità provenienti da culture anche molto diverse che offrono servizi di supporto alle varie attività. È ciò che viene definito “outsourcing”, ovvero il rivolgersi a società di servizi esterne per affrontare particolari esigenze e necessità; in genere l'outsourcing dei servizi riguarda soprattutto l'ambito tecnologico ed edile, le attività di sicurezza, di pulizia, di ristorazione o di supporto per gli allestimenti e, negli ultimi anni, la gestione della qualità dell'aria interna e del microclima.

Ognuno di tali ambiti ha un impatto diretto sul raggiungimento degli standard di funzionamento e sviluppo di un museo, anche perché attualmente la qualità di un'istituzione museale è valutata non tanto in relazione al suo livello di merito, alle collezioni possedute o all'attrazione sul pubblico o alla dimensione fisica, e nemmeno sulla base del risultato di una valutazione tecnica non supportata da valori quantitativi, bensì in relazione alla capacità di soddisfare le specifiche esigenze di gestione del museo, di cura delle collezioni e di servizi al pubblico. (M.BB.CC. 2001).

A conferma di ciò, all'art. 6 del Codice dei beni culturali e del paesaggio (M.BB.CC.AA. 2004) si esplicita il concetto che la “valorizzazione” consiste anche nell'assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio, comprendendo anche il sostegno degli interventi di conservazione del patrimonio culturale. Ne discende implicitamente che ai concetti di fruizione e conservazione non può che accompagnarsi il concetto di efficienza prestazionale del contenitore e delle dotazioni infrastrutturali ad esso asservite, ivi compresa, quindi, la qualità ambientale.

La problematica principale dal punto di vista del conservatore è quindi la gestione dell'insieme e la scelta e l'utilizzo degli strumenti più idonei per porre in pratica virtuosamente gli obiettivi indicati e preservare il proprio patrimonio di valori senza mancare all'importante appuntamento con la storia, che impone di adeguare il sistema museale alle nuove aspettative e responsabilità affidategli.

1.4 PROBLEMATICHE TECNICO-SCIENTIFICHE

La scienza della conservazione è una materia vasta ed articolata e l'attività di scienziati e tecnici in questo settore può riguardare molteplici campi, dalla chimica alla geologia, dall'ingegneria strutturale all'impiantistica, dalla scienza della corrosione all'ingegneria ambientale, fino a toccare aree strettamente tecnologiche quali la radiologia ed i moderni metodi di indagine delle opere d'arte (cromatografia, spettrofotometria, microscopia elettronica etc.). Da qualche decennio, in particolare, la conservazione dei beni culturali interessa fortemente la ricerca scientifica, specificamente quella applicata.

Tale interesse è dovuto anche all'affermarsi delle strategie di conservazione preventiva, la cui caratteristica multidisciplinare coinvolge attivamente il settore fisico-tecnico, in particolare per quanto riguarda il controllo di quei parametri (temperatura, umidità relativa, inquinamento, radiazione luminosa) che influenzano i naturali fenomeni di degrado dei manufatti.

È opportuno premettere, che se “conservare” dal punto di vista fisico-tecnico significa creare intorno all'opera d'arte “adeguate condizioni microclimatiche” è altrettanto vero che tale espressione è talmente inflazionata da essere diventata luogo comune, per cui può risultare difficile risalire alle ragioni che la generano e che la giustificano (Bernardi, 2004); a

tutt'oggi non è ancora abbastanza chiaro cosa sia un ambiente “idoneo” ed elaborare proposte di intervento per la conservazione in ambienti museali non è affatto un problema dalla soluzione immediata. Nella gestione di servizi relativi alla qualità dell'aria interna e al microclima, in particolare per quelli di matrice tecnologica, non è possibile applicare schemi standardizzati in quanto nel settore della conservazione si ha a che fare con oggetti che richiedono condizioni climatiche non standard e che spesso sono ospitati in edifici storici che, a loro volta, hanno particolari esigenze impiantistico-tecnologiche. Ciò significa che è necessario considerare almeno i tre elementi principali del sistema museale: il museo (inteso come sistema edificio-ambiente), le collezioni e il pubblico fruitore, ognuno dei quali può essere fonte di diverse problematiche, infatti:

1. il museo:

- è immerso in uno specifico contesto climatico ed ambientale e, come detto, non è possibile pianificare un microclima standardizzato, da applicarsi in ogni situazione.
- può presentare vincoli rispetto alle possibilità di intervento tecnologico-impiantistico se è, come spesso accade, esso stesso un bene culturale da salvaguardare.

2. le collezioni:

- presentano diversi materiali costitutivi, per cui si devono prendere contemporaneamente in considerazione tutti i fenomeni fisici, ma anche chimici e biologici, che si possono verificare in specifiche condizioni microclimatiche e le possibili interazioni che avvengono con i materiali di finitura usati per l'esposizione e il deposito;
- hanno una “storia ambientale” pregressa che va rispettata e messa in relazione con la sequenza di eventi caratterizzanti il degrado dei materiali;

- per effettuare eventuali interventi vanno valutati i procedimenti esecutivi e lo stato di conservazione di ciascun oggetto.

3. al pubblico fruitore:

- vanno garantite adeguate condizioni di accessibilità e fruibilità. La conservazione va sempre confrontata con la necessità di offrire una corretta fruizione da parte del pubblico e questo aspetto non è privo di inconvenienti: i visitatori, infatti, alterano il microclima degli ambienti espositivi (Mazzei, 2005) trascinando polveri ed inquinanti dall'esterno ed apportando energia termica e vapore acqueo (si pensi alle visite guidate allorché un gruppo cospicuo di turisti si avvicina ad un'opera d'arte); inoltre, al pubblico vanno garantite le migliori condizioni di leggibilità degli oggetti esposti e ciò non si concilia facilmente con le esigenze conservative dei materiali;
- deve essere comunque garantita la continuità e la stabilità dei servizi a prescindere dai progetti e relativi interventi sulla qualità dell'ambiente museale;
- vanno comunque assicurate condizioni di comfort ambientale che permettano la fruizione dell'oggetto stesso, pur tenendo conto prioritariamente delle esigenze degli oggetti conservati.

Ogni elemento indicato ha una valenza propria che va identificata e presa in considerazione: il segreto del risultato non sarà certo una mera individuazione ma l'utilizzo dei contributi che provengono da diversi livelli di informazione per ottenere quelle relazioni complesse in grado di condurre alla costruzione logica del progetto conservativo.

1.5 LA CONSERVAZIONE PREVENTIVA DELLE RACCOLTE MUSEALI

Gaël de Guichen definisce la conservazione “Any direct or indirect human activity which is aimed at increasing the life and expectancy of either intact or damaged collections”.

La conservazione preventiva, intesa come l’insieme dei comportamenti e delle precauzioni tecniche che possono essere messi in atto con continuità, volti a prevenire i danni e a rallentare il degrado evitandone l’insorgere, eliminandone le cause principali o riducendole alla minima intensità (AA.VV., 2005)

La cura delle collezioni, infatti, deve potersi innanzitutto fondare su un’idonea politica di prevenzione (M.BB.CC. 2001), assicurando, nel rispetto della specifica natura e delle caratteristiche degli oggetti:

- adeguate condizioni ambientali;
- una costante ed efficace manutenzione dei locali;
- specifiche misure di protezione dai rischi;
- una regolare verifica dei loro standard di conservazione;
- tempestivi interventi atti ad assicurare l’integrità degli oggetti;
- idonee misure di sicurezza tanto degli oggetti e delle opere esposte quanto di quelli conservate nei laboratori e nei depositi.

In quest’impostazione, nulla di ciò che riguarda l’esposizione delle collezioni è estraneo all’obiettivo della conservazione: le condizioni dell’edificio e dei suoi impianti sono importanti quanto le procedure di pulizia delle sale o di manutenzione programmata delle vetrine in cui sono custoditi gli oggetti.

È evidente che vanno definite delle priorità procedendo con criteri che permettano di individuare le problematiche principali da affrontare; a tale

scopo è certamente utile una corretta valutazione ed analisi dei rischi che potrebbe essere per esempio effettuata, secondo lo schema della Tabella 1.1, e che da la possibilità di focalizzare l'attenzione su quei fattori che risultano essere potenzialmente più dannosi.

Tabella 1.1 - Analisi dei rischi

Minaccia	Sorgente	Danno	Cause frequenti	Azione preventiva
Umidità relativa	umidità relativa troppo alta o troppo bassa	<ul style="list-style-type: none"> - muffe - corrosione (valori elevati) - infragilimento (valori bassi) 	cambiamento meteorologico e climatico	effettuare un monitoraggio termoigrometrico
			presenza di condensa, infiltrazioni di acqua	spostare le collezioni in ambienti più idonei, introdurre sistemi di controllo attivo e passivo dell'umidità relativa
	rapide variazioni di umidità relativa	<ul style="list-style-type: none"> - fessurazione - raggrinzimento - deformazione 	<ul style="list-style-type: none"> ventilazione inadeguata, pulizia ad umido dei pavimenti, tinteggiatura delle pareti interne 	migliorare la ventilazione
			umidità proveniente dal suolo, presenza di condensa superficiale	intervenire sull'involucro edilizio
Temperatura	temperatura elevata o bassa	<ul style="list-style-type: none"> - aumento del degrado - infragilimento 	riscaldamento o controllo e regolazione della temperatura inadeguati	effettuare un monitoraggio microclimatico, migliorare i sistemi di controllo e regolazione della temperatura
			cambiamenti climatici	installare un sistema di illuminazione esterna alle vetrine, a fibre ottiche o comunque a bassa dissipazione di energia
	rapide variazioni di temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - fessurazione - raggrinzimento - deformazione 	illuminazione	
			isolamento insufficiente dell'edificio	migliorare l'isolamento
			regolazione insufficiente del riscaldamento	controllare la temperatura con sistemi di condizionamento o migliorare la regolazione del riscaldamento

(continua)

Tabella 1.1 - (segue)

Minaccia	Sorgente	Danno	Cause frequenti	Azione preventiva
Luce	-luce intensa -luce a lunghezza d'onda corta (ultravioletto)	- fading - decolorazione - infragilimento - distruzione	luce naturale e artificiale non dosata, oggetti in posizione errata, sorgenti di luce artificiale non appropriate, mancanza di filtri e tendaggi	misurare l'intensità della luce ed il livello di ultravioletti, installare filtri e tendaggi per ridurre l'ultravioletto e il visibile, ridurre l'illuminamento nell'area di esposizione, ridurre i tempi di esposizione alla luce, se necessario, imporre un limite annuale al tempo di esposizione alla luce
Infestazio- ni	uccelli	- imbrattamento degli oggetti	fori e passaggi nell'involucro dell'edificio	curare la manutenzione dell'involucro dell'edificio
	roditori	- oggetti rosi o divorati	materiali attrattivi o sorgenti di cibo nei materiali esposti (piante, uova, ecc.)	inserire trappole
	insetti lepidotteri, tarme, scarafaggi	- oggetti imbrattati, rosi internamente e danneggiati in superficie	pulizia insufficiente, mancato controllo delle nuove acquisizioni	isolare immediatamente gli oggetti infestati, ispezionare tutte le nuove acquisizioni
	muffe	- danneggiamento superficiale	umidità relativa elevata	evitare di creare aree umide, isolare dalla luce i magazzini, mantenere i magazzini al freddo,
funghi	- danneggiamento superficiale	etichettare ed ispezionare frequentemente i materiali soggetti a rischio		

(continua)

Tabella 1.1 - (segue)

Minaccia	Sorgente	Danno	Cause frequenti	Azione preventiva
Inquinanti	aeriformi, acidi, particolati, sporco, polvere	- degrado dei materiali	prossimità alle strade	pulire regolarmente ed accuratamente le aree di esposizione e i magazzini, introdurre tappeti vinilici per il trattenimento delle polveri, griglie o bussole per l'entrata del pubblico, effettuare un monitoraggio ambientale
			mancanza di filtrazione dell'aria	utilizzare apparecchi di filtrazione
			chiusura inadeguata di porte e finestre, manutenzione inadeguata dell'edificio	curare la manutenzione dell'edificio
			disinfestazione e utilizzo di qualunque prodotto chimico usualmente non presente in ambiente	utilizzare materiali e procedure approvati
			visitatori	ridurre il contatto con gli oggetti
			immagazzinamento inadeguato	inscatolare o imballare gli oggetti nei depositi
	materiali utilizzati per i depositi e gli elementi di esposizione	- corrosione - decolorazione, - danneggiamento fisico		usare solo materiali approvati e testati per una particolare applicazione, evitare accuratamente l'uso materiali sicuramente dannosi, se possibile testare i materiali conosciuti prima dell'utilizzo oppure sigillare, ricoprire o ventilare per mitigare i possibili effetti

(continua)

Tabella 1.1 - (segue)

Minaccia	Sorgente	Danno	Cause frequenti	Azione preventiva
Disastri	inondazioni	- ruggine - dissolvimento di inchiostri e pigmenti - crescita di muffe - deformazioni - impregnazione - aumento di volume - disintegrazione	inondazioni esterne, perdite da tubazioni, infiltrazioni dal tetto, impianto antincendio	formulare un esauriente “Disaster Plan”, che include liste di controllo per le procedure di manutenzione includendo i lavori appaltati (speciale attenzione deve essere posta ai lavori edili) e i controlli di manutenzione interni ed esterni, addestrare, motivare e controllare il personale
	incendi	- incinerazione - bruciatore - deposito chimico	guasti elettrici fulmini cause accidentali dolo	
Persone	personale intrusi	- rotture - abrasioni - furti	manipolazioni non necessarie o indebite, manipolazioni non corrette	aumento di -temperatura -inquinanti -grado igrometrico
Visitatori		aumento di - temperatura - inquinanti - grado igrometrico		ottimizzare la gestione dei flussi e del percorso di visita
		- rotture - furti	esposizione aperta	prevenire la possibilità che i visitatori tocchino gli oggetti

Dall'analisi della tabella si evince che è possibile considerare la Conservazione Preventiva (AA.VV. 2003.) come un insieme globale di interventi tecnici e attività volti a migliorare lo stato conservativo, sia dei beni culturali siti nelle raccolte museali (esposti e ricoverati nei depositi), sia dell'ambiente circostante che li ospita, attraverso la gestione e la pianificazione delle risorse materiali, umane e temporali a disposizione.

Nello specifico, si pone l'accento sulla duplice necessità sia di operare non solo sul singolo oggetto bensì sull'intera raccolta, che di misurare e controllare non solo le condizioni conservative della singola vetrina o della

sala espositiva, ma anche lo stato di salute dell'edificio che li ospita, compresi i depositi di materiali. Questo anche perché intervenendo non sul singolo oggetto, ma anche sull'ambiente che lo contiene con ripetute azioni programmate di piccola entità e basso costo, si possono evitare grandi interventi di restauro che possono risultare molto costosi e comunque invasivi nei confronti dell'opera, un po' come nella medicina preventiva che studia e agisce sull'ambiente, sulle abitudini e sugli stili di vita degli esseri umani al fine di migliorarne lo stato di salute ed evitare ricoveri in ospedale spesso costosi e traumatizzanti.

1.6 IL MUSEO “ATTUALE”

Museo, dal latino museum, dal greco museion: luogo sacro alle muse, figlie di Zeus e Mnemosine, la madre della memoria del creato.

Il museo: “...un'istituzione permanente, senza scopo di lucro, al servizio della società e del suo sviluppo. E' aperto al pubblico e compie ricerche che riguardano le testimonianze materiali e immateriali dell'umanità e del suo ambiente; le acquisisce, le conserva, le comunica e, soprattutto, le espone a fini di studio, educazione e diletto”¹.

Oggi il museo può essere definito un laboratorio della memoria e uno strumento per la diffusione della conoscenza, ma oltre a questi aspetti di fondo si è verificato un complesso arricchimento nel concetto e nelle finalità dell'istituzione. Negli ultimi vent'anni, infatti, il museo ha mutato la sua fisionomia generale sulla scorta del dibattito che ha portato a una profonda

¹definizione di museo, adottata nella XV Assemblea generale dell'ICOM riunita a Buenos Aires, Argentina, il 4 novembre 1986

revisione del concetto di bene culturale e di patrimonio artistico, a seguito del diffuso uso sociale e didattico di tale patrimonio e dello sviluppo della nozione di redditività del prodotto culturale in termini anche di strategie economiche. Al tradizionale ruolo di raccolta, catalogazione ed esposizione di un insieme di oggetti, si sostituisce una struttura flessibile nella quale la funzione tradizionale si integra con quella di ricerca e didattica consentendo diversificati e selezionati livelli di accesso alle informazioni ed alla conoscenza e che contribuisce a trasformare il museo da oggetto a soggetto attivo di processi culturali e progetti d'intervento: il museo contemporaneo si configura come momento operativo e di sedimentazione di cultura materiale sul territorio.

L'apertura verso attività di ricerca e di studio, che ha prodotto tematiche tipologiche polivalenti, è probabilmente l'evento più singolare e innovativo in campo museale. Per esempio, fra i nuovi modelli museali che si affermano oltreoceano, occorre ricordare la Smithsonian Institution che, sostenuta con fondi pubblici, offre ai musei consociati servizi ed efficienti magazzini dai quali vengono prelevate le opere a seconda delle necessità (esposizioni, studio, ecc.). In Europa un esempio è la creazione del Centro G. Pompidou che, oltre al ricchissimo Musée National d'Art Moderne, ospita il Centre de Création Industrielle, l'Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique e numerosi servizi, primo fra tutti un'efficiente biblioteca.

Queste nuove finalità modificano l'organizzazione spaziale e funzionale e l'ordinamento scientifico del museo arricchendolo di strutture ed attrezzature che oggi ne formano il cuore e il supporto indispensabile: la biblioteca specializzata, l'archivio fotografico, i cataloghi informatici, le sale didattiche e per conferenze, gli ambienti per le mostre temporanee, le gallerie

commerciali, i vani a carattere flessibile per accogliere seminari o gruppi di visitatori nonché vari locali di sosta e di ristoro.

In Italia a differenza di quanto avviene negli Stati Uniti e in molti paesi europei, ove per i musei si costruiscono nuovi edifici progettati ad hoc per tale destinazione, si tende a utilizzare edifici storici con caratteristiche monumentali, sorti originariamente per uso diverso, ma per i quali l'utilizzo culturale e museografico rappresenta l'unica via di scampo all'incuria, al degrado e alla speculazione edilizia e, nello stesso tempo, l'unico modo per essere offerti; in Italia, 28 edifici attualmente sede di museo sono anteriori al XII secolo, 483 sono stati realizzati tra il XII e il XVI e 544 tra il XVII e il XIX secolo (Huber, 1997).

Per di più, spesso il palazzo storico, sede museale è inserito in un più vasto contesto urbano inteso esso stesso quale museo, ciò per renderlo fruibile al pubblico e farne il fulcro di attività culturali. È ciò che si potrebbe definire la realizzazione di un "museo interno": l'adattamento di spazi storici alle innovazioni museografiche; una laboriosa ricerca di equilibrio tra edifici monumentali e nuove funzioni, tra antiche collezioni e nuovi fruitori.

Le ragioni di tale necessità stanno anche nel rapporto tra i circa quattromila musei censiti e la straordinaria ricchezza culturale (rappresentata efficacemente dall'ufficio studi del Touring Club Italiano) che conta duemila siti archeologici, quarantamila rocche e castelli, trentamila dimore storiche, quattromila giardini storici, novantacinquemila chiese, mille centri storici di elevato pregio (Jalla, 2004). Nel nostro paese c'è quindi un nesso indissolubile e determinante tra musei e territorio che ne fa un "museo a cielo aperto", un grande "museo diffuso", già identificato a fine Settecento da Quatremère de Quincy nelle sue "Lettres sur les prejudices qu'occasioneroient aux Arts et aux Sciences le déplacement de monuments de l'art de l'Italie...", dove osservava che "mille cause riunite hanno concorso a

fare dell'Italia una specie di museo generale” o in tempi più recenti da André Chastel (Chastel, 1980) che ha mirabilmente descritto l'Italia come un sistema unitario in cui un museo si trova per lo più collocato all'interno di un edificio che è a sua volta un bene culturale, inserito in un contesto urbano e di un paesaggio che a loro volta fanno parte del patrimonio culturale.

Le nuove finalità comportano, però, ed inevitabilmente, una modifica dell'organizzazione spaziale e funzionale e dell'ordinamento scientifico del museo. Tutti i musei rinnovati o riordinati, oppure appositamente costruiti in questi ultimi decenni, presentano delle caratteristiche tali che sarebbe vano ricercare in quelli - anche più autorevoli - istituiti nel XIX secolo. Oggi la superficie di un nuovo museo non è più occupata esclusivamente dalle sale di esposizione: esse ne costituiscono quasi sempre solo una metà, il resto è destinato ad attività diverse ognuna delle quali richiede spazi e una dotazione di allestimenti particolari, nonché condizioni microclimatiche differenti così come mostrato in Figura 1.2.

Riguardo quest'ultimo punto, che è poi l'oggetto di studio di questa tesi, c'è da dire che nell'utilizzare strutture antiche o moderne vi sono aspetti sia positivi che negativi. Tra gli aspetti positivi c'è sicuramente quello dovuto al fatto che le pareti degli edifici storici sono generalmente caratterizzate da un'elevata capacità termica, sostanzialmente dovuta ai materiali e agli spessori utilizzati, che determina uno sfasamento nella risposta delle condizioni climatiche interne alla sollecitazione dovuta ai cambiamenti climatici esterni, si pensi al cambiamento delle stagioni; ciò si traduce in un controllo passivo delle condizioni termoigrometriche interne.

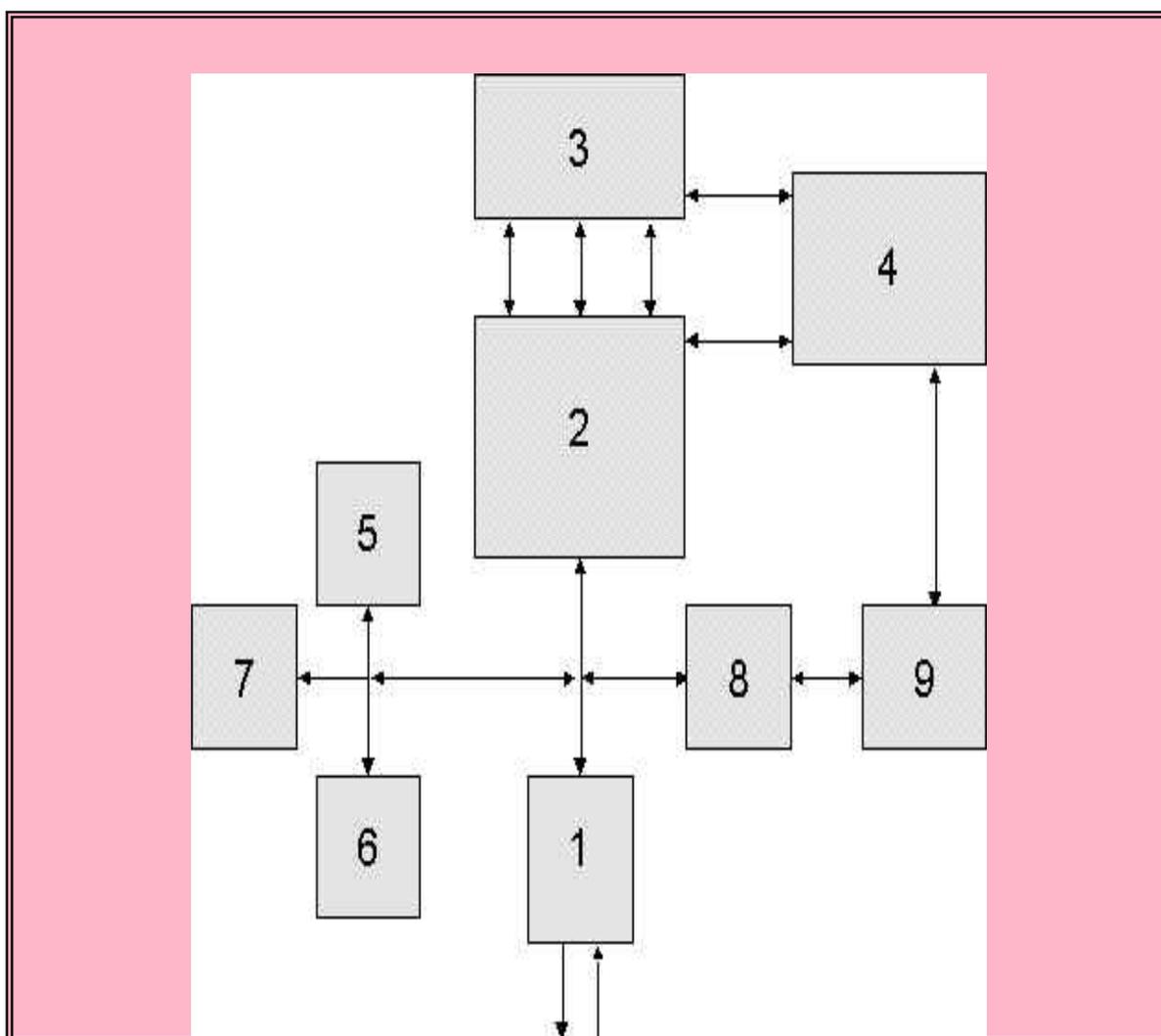


Figura 1.2 - Schema generale distributivo di un museo tipo.

1. servizi d'ingresso (biglietteria, controllo, vendita cataloghi e fotografie, servizio di bar ecc.);
2. sale d'esposizione (museo di prima scelta);
3. sale d'esposizione (eventuale museo di seconda scelta);
4. magazzino di deposito;
5. biblioteca;
6. sale per mostre temporanee;
7. sala per conferenze e proiezioni;
8. servizi di direzione ed amministrazione;
9. attrezzatura tecnica e scientifica (laboratori di restauro, gabinetti fotografici e di disegno ecc.).

Tuttavia un edificio antico in quanto tale non sempre è idoneo alla conservazione in quanto vi possono essere zone che meritano una particolare attenzione, poiché in esse le condizioni termoigrometriche sono fortemente influenzate dal clima esterno. Pertanto nella gestione dell'ubicazione delle

varie opere d'arte si cercherà di collocare quelle più sensibili alle variazioni termoigrometriche negli ambienti più interni dell'edificio, mentre quelle meno sensibili verranno poste nelle zone perimetrali o all'ultimo piano dove comunque è bene effettuare interventi migliorativi per controllare il microclima (coibentazione, gestione delle aperture, illuminazione a bassa dissipazione di energia, bussola per l'entrata del pubblico, tappeti vinilici per il trattenimento delle polveri, ecc.). (Mazzei, 2005).

In conclusione, in una struttura di per sé idonea alla conservazione, è la non corretta gestione delle condizioni ambientali che rende l'ambiente pericoloso per la conservazione degli oggetti esposti.

2. ANALISI E CONTROLLO DEL MICRO-CLIMA

2.1 IL DEGRADO DEI BENI CULTURALI

Un oggetto esposto in un museo, in quanto “testimonianza materiale” del cammino di crescita civile e culturale dell’uomo per le future generazioni, dovrebbe trovarsi in condizioni ottimali e conservarsi immutato nel tempo. In realtà, invece, le opere d’arte, i manufatti, i reperti e tutti gli oggetti conservati nei musei subiscono un deterioramento, per quanto lento nel tempo: i metalli si corrodono, le pitture sbiadiscono, la carta, il legno e i tessuti sono soggetti all’aggressione da parte di funghi e batteri, e così via.

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

2.2 IL RUOLO DEI PARAMETRI TERMOIGROMETRICI NEL DEGRADO DEI BENI CULTURALI

Così come si fa per le persone, è ormai prassi definire anche per i materiali e/o i manufatti di interesse storico-artistico le condizioni di benessere, ovvero intervalli di valori di temperatura e umidità relativa all’interno dei quali si

può ritenere di garantire loro una corretta conservazione. Il raggiungimento e la persistenza di valori di temperatura e umidità relativa diversi da quelli che rientrano nell'intervallo di benessere per il particolare materiale o per il singolo oggetto producono danni sul lungo periodo, ma non va dimenticato che brusche variazioni o fluttuazioni di breve periodo, dell'ordine dei giorni se non delle ore, possono indurre alterazioni spesso irreversibili e che il rischio maggiore per la conservazione deriva proprio dai gradienti spaziali e temporali di tali parametri. Infatti, tenendo presente che qualsiasi oggetto si adatta nel tempo all'ambiente circostante entrando con esso in equilibrio, è soprattutto l'entità e la velocità dello spostamento da tale equilibrio ad accentuare processi di deterioramento in atto (UNI, 1999).

Rimandando la scelta dei campi di benessere alla normativa esistente (UNI, 1999) e all'esperienza del conservatore, è comunque sempre buona norma tener presente alcuni principi fondamentali che mettono in relazione il degrado con i parametri termoigrometrici (Aghemo et al., 1997):

- le basse temperature dell'aria di per se stesse non sono dannose per gli oggetti museali, mentre le alte possono esserlo in quanto favoriscono i processi degenerativi di carattere chimico;
- la fluttuazione nel tempo della temperatura dell'aria a contatto con l'oggetto induce in quest'ultimo uno stress termico, provocando dilatazioni; chiaramente, l'entità del danno aumenta se l'oggetto è costituito da materiali diversi;
- l'umidità relativa influenza le variazioni di dimensione e di forma degli oggetti ed i processi chimici e biologici. In particolare:
 - tutti i materiali organici in grado di assorbire acqua, quali il legno, l'avorio, il cuoio, la carta e i collanti si gonfiano quando l'umidità relativa cresce e si restringono quando essa diminuisce, con conseguenti variazioni di peso, deformazioni, rotture di fibre, crepe e fessurazioni;

- valori dell'umidità relativa maggiori del 45% favoriscono diverse reazioni chimiche, tra cui la corrosione dei metalli, lo scolorimento delle tinture su cotone, lino, lana, seta e l'indebolimento delle fibre organiche (tessili e carta), soprattutto se in presenza di luce;
- valori di umidità relativa superiori al 65%, con valori di temperatura superiori a 20°C, favoriscono lo svilupparsi di muffe ed accelerano i cicli vitali di numerosi e dannosi insetti.

Dalla Tabella 2.1, nella quale sono riportate alcune categorie di materiali e/o oggetti raggruppate per classi di sensibilità ai parametri termoigrometrici, si evince che il fattore più importante, ai fini del degrado, è l'umidità relativa. In realtà, molto spesso risulta difficile distinguere il degrado dovuto alla temperatura da quello dovuto all'umidità relativa, in quanto tra i due parametri esiste una stretta sinergia nella determinazione del danno; in ogni caso, è da sottolineare che l'entità dei danni indotti da ciascun parametro o dalla combinazione di essi dipende soprattutto dalla natura dei materiali, dalla geometria dell'oggetto, dal tempo di esposizione, dalla magnitudo del fattore di danno (concentrazione del contaminante o scostamento dai valori ottimali per umidità e temperatura) e dai tipi di meccanismi di deterioramento che saranno analizzati nei paragrafi successivi.

2.2.1 Meccanismi di deterioramento

E' possibile suddividere i meccanismi di deterioramento in:

- meccanismi di tipo fisico (es. variazioni di dimensioni e forma degli oggetti);
- meccanismi di tipo chimico (es. reazioni chimiche);
- meccanismi di tipo biologico (es. proliferazione di microrganismi).

Tabella 2.1 - Sensibilità all'umidità relativa ed alla temperatura di alcuni materiali costituenti oggetti museali. Da (Aghemo et al., 1997), modificata.

Parametro	Materiali/Oggetti	Livello di sensibilità
Umidità relativa	Mobili intarsiati, dorati o laccati, strumenti musicali in legno, pitture su pannelli o sculture in legno, manoscritti illuminati (carta e pergamena), lacche orientali, gessi, paraventi giapponesi.	Estremo alle variazioni di umidità relativa
	Tessili e costumi, pitture ad olio su tela, opere d'arte e documenti di carta e pergamena, cartapesta, materiali di origine vegetale (corceccia, erba, papiro), oggetti in legno policromo, mobili in legno, oggetti ed abiti in cuoio e pelle, armature, armi, materiali in osso, avorio e corno, miniature, oggetti cinesi laccati.	Necessitano di condizioni di umidità relativa moderatamente stabili
	Pietra, marmo, ceramica, vetro stabile, leghe d'argento e d'oro.	Relativamente insensibili alle variazioni di umidità relativa
	Ferro, acciaio, ottone, bronzo, rame e sue leghe, argento comune, oro comune, bronzi archeologici, vetro instabile ed iridescente, tessili con elementi metallici, reperti mummificati.	Necessitano di bassissimi valori di umidità relativa
Temperatura dell'aria	Pellicce, pelli animali, reperti animali (uccelli e mammiferi).	Necessitano di bassi valori di temperatura dell'aria

2.2.1.1 *Meccanismi di tipo fisico*

I meccanismi di tipo fisico sono spesso direttamente riconducibili alle caratteristiche strutturali e termofisiche dell'involucro edilizio, che può favorire fenomeni quali trasferimento di energia termica e/o di vapor d'acqua; questi fenomeni, inducendo variazioni di temperatura e di umidità relativa nell'ambiente espositivo, costituiscono il rischio maggiore per la conservazione.

I gradienti termici influenzano i fenomeni di trasporto di acqua e di energia termica tra oggetto e ambiente, provocando dilatazioni e contrazioni oltre

che a fenomeni di evaporazione e condensazione, migrazione di acqua e sali, trasporto e deposito di inquinanti aerodispersi. Particolare attenzione è da porre a quei gradienti termici che presentano una ampiezza e una cinetica (velocità delle oscillazioni) tali da provocare tensionamenti, variazioni di volume dell'oggetto e formazione di microfratture, che non solo riducono la resistenza del materiale, costituendo un punto di concentrazione delle tensioni meccaniche, ma aprono la via alla penetrazione in profondità di acqua e sali solubili. I danni maggiori si rilevano negli oggetti costituiti da materiali con diverso coefficiente di dilatazione termica, che possono manifestare fratture sulle interfacce delle superfici di connessione.

Anche valori inadeguati e oscillazioni dell'umidità in ambiente possono produrre sollecitazioni nei materiali tali da determinarne indebolimento strutturale, con danni irreversibili; di fatto, ciascun materiale è caratterizzato da uno specifico valore del contenuto di umidità che varia in funzione delle condizioni termoigrometriche dell'ambiente in cui si trova. Per una corretta conservazione, l'oggetto e l'ambiente circostante devono essere in equilibrio; in caso contrario, in particolare per gli oggetti costituiti da materiali igroscopici, all'interfaccia di separazione tra l'ambiente e l'oggetto si ha uno scambio di vapore acqueo che induce stress meccanici distruttivi o fenomeni di fessurazione, lacerazione, spaccature o sfibramento dovuti a cambiamenti di volume, massa e forma dell'oggetto stesso.

Il campo di valori di umidità relativa ritenuti ammissibili per una idonea conservazione è in generale abbastanza ristretto: valori inferiori al 20÷25% sottopongono molti materiali, in particolare quelli di origine organica quali legno ed avorio, ad infragilimento, rendendoli più sensibili alle tensioni meccaniche e inducendo contrazioni, perdita di flessibilità e insorgere di lesioni; valori al di sopra del 50%, oltre a determinare l'aumento di probabilità di innesco di meccanismi di degrado, rendono i materiali progressivamente più

plastici e flessibili fino al raggiungimento di deformazioni plastiche irreversibili. Tra l'altro, va tenuto presente che, in generale, a valori intermedi di umidità relativa possono essere tollerate più ampie variazioni temporali della stessa (Thomson, 1986).

Un classico esempio di degrado dovuto a meccanismo fisico sono le pitture su tavola, molto sensibili alle fluttuazioni di umidità relativa. Infatti, lo strato di pittura costituisce una barriera al vapore e quindi gli scambi evaporativi tra tavola e aria sono praticamente localizzati solo sulla superficie del lato "nudo" della tavola; ciò comporta che gli strati più esterni sono quelli soggetti a variazioni dimensionali più rilevanti, che inducono deformazioni plastiche irreversibili, causa della caratteristica forma convessa dell'intera tavola (Lorusso, 1995).

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

2.2.1.2 *Meccanismi di tipo chimico*

La causa scatenante del deterioramento di tipo chimico è un non idoneo valore del grado igrometrico che fa da catalizzatore a reazioni cinetiche o foto-chimiche eventualmente in atto, dovute alla presenza di contaminanti; per quanto riguarda la temperatura dell'aria, mentre elevati valori accentuano il fenomeno, bassi valori tendono ad innalzare la stabilità chimica del materiale, rendendolo meno reattivo. L'idrolisi acida nella carta, la decomposizione del cuoio, lo sfibramento e lo scolorirsi dei tessuti sono manifestazioni di questo fenomeno.

2.2.1.3 *Meccanismi di tipo biologico*

Alti valori di temperatura e grado igrometrico sono la causa del cosiddetto deterioramento di tipo biologico, che si può verificare, in tempi lunghi, anche in condizioni ambientali non estreme: muffe, insetti e parassiti sono causa di un degrado veloce, grave ed irreversibile.

Purtroppo, per evitare il degrado dovuto ad agenti biologici, non è sufficiente controllare i valori di temperatura ed umidità relativa, ma va anche prestata attenzione ad altri parametri, quali il ricambio e la purezza dell'aria, la presenza di flussi e correnti d'aria, i criteri espositivi: ad esempio, gli affreschi e gli oggetti realizzati con materiali facilmente asportabili non debbono essere collocati nelle immediate vicinanze di bocchette, diffusori, fan coil e quant'altro né in prossimità di porte o finestre affinché le correnti non accentuino i fenomeni indicati.

2.3 IL RUOLO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL DEGRADO DEI BENI CULTURALI

Il controllo della qualità dell'aria è un problema di grande rilevanza tecnica che, nello specifico degli ambienti museali, esce da un ambito prettamente igienico e richiede una visione culturalmente aggiornata alla quale contribuiscano sia i saperi storici che quelli tecnico-scientifici: controllare la qualità dell'aria a contatto con l'oggetto museale significa non solo contenere la concentrazione degli inquinanti gassosi e particellari presenti nell'aria, ma soprattutto conoscere il danno che ciascun inquinante può comportare sul singolo oggetto esposto. In generale, bastano livelli di concentrazione anche decisamente inferiori a quelli dannosi per la salute umana per provocare al patrimonio storico ed artistico danni spesso irreversibili, quali la corrosione e

l'opacizzazione dei metalli, l'attenuazione o il cambiamento di colore e l'infragilimento del materiale cartaceo, l'annerimento delle pitture, lo sgretolamento degli affreschi, la disgregazione dei materiali calcarei (marmo, arenaria, travertino), costringendo i conservatori a sottoporre le opere a costosi e traumatici interventi di restauro.

Le strategie utilizzate per l'ottenimento di una buona IAQ negli ambienti museali sono essenzialmente le seguenti:

- il controllo delle possibili sorgenti di contaminanti (arredi, materiali da rivestimento, prodotti per la pulizia, impianti tecnologici);
- la diluizione degli inquinanti tramite un sistema di filtraggio dei contaminanti aerodispersi gassosi e particellari, presenti sia nell'aria esterna immessa all'interno, sia nell'aria interna ricircolata.

2.3.1 Le sorgenti di inquinanti nei musei

Una prima causa di presenza di inquinanti è l'ambiente esterno: la collocazione dei musei in aree urbane altamente trafficate senza adeguati piani antismog, l'inquinamento industriale, la presenza di fumi e particolato producono danni irreversibili alle opere d'arte. D'altra parte, anche nei piccoli borghi sono presenti problematiche legate all'inquinamento, dovute per esempio alla vicinanza di zone agricole, con presenza di particolato e prodotti chimici, o del mare, con presenza di salsedine. A queste forzanti esterne bisogna aggiungere le sorgenti interne, costituite dagli elementi costruttivi e decorativi e dagli stessi arredi, ma soprattutto dai visitatori, dal personale e da una cattiva gestione delle varie attività che si svolgono normalmente in un museo moderno.

Le sorgenti di inquinanti negli ambienti museali, quindi, sono molteplici e fra loro correlate; una possibile catalogazione è quella riportata in Tabella 2.2,

mentre in Figura 2.1 è riportato uno schema con le possibili veicolazioni di inquinanti in un ambiente museale.

Tabella 2.2 - Inquinanti presenti in ambiente museale suddivisi in classi.

Tipo di sorgente	Classe	Sorgente
Endogena	Attività umane	Metabolismo degli occupanti Processi di combustione Pulizia dei locali Igiene personale
	Materiali edilizi e arredi	Emissioni dai materiali edilizi Emissione da collanti e vernici Emissione da arredi e pareti umide
	Impianti	Emissioni di contaminanti dagli impianti Emissioni di contaminanti che possono svilupparsi in componenti degli impianti.
Esogena	Industrie	Scarichi
	Traffico veicolare	Scarichi
	Prodotti agricoli	Fertilizzanti e prodotti chimici in generale

2.3.2 Gli inquinanti presenti nei musei

Da quanto finora detto, risulta evidente che nei musei, così come in tutti gli ambienti indoor, sono presenti sia inquinanti provenienti dall'esterno che inquinanti prodotti all'interno dell'ambiente. Evidentemente, ciò che differenzia l'ambiente museale dagli altri ambienti indoor è che in questo caso, oltre agli effetti sulle persone, che non vanno assolutamente trascurati in quanto i visitatori, come il personale, costituiscono elemento essenziale del sistema museale, vanno considerati anche quelli sui materiali e/o sui manufatti esposti; in particolare, gli effetti che gli inquinanti hanno sui materiali con i quali vengono a contatto sono diversi: scolorimenti, corrosione di metalli e vetri, fenomeni di idrolisi di materiali organici, attacchi acidi di materiali cartacei, e

così via, e sono funzione di molteplici fattori, tra cui i valori di temperatura dell'aria e dell'umidità relativa; per esempio, la reattività chimica e la velocità di attacco di inquinanti quali NO_2 , SO_2 , H_2S risultano fortemente condizionate da valori di U.R. superiori a 45-50% di umidità e dalla presenza di vapore acqueo in prossimità della superficie degli oggetti.

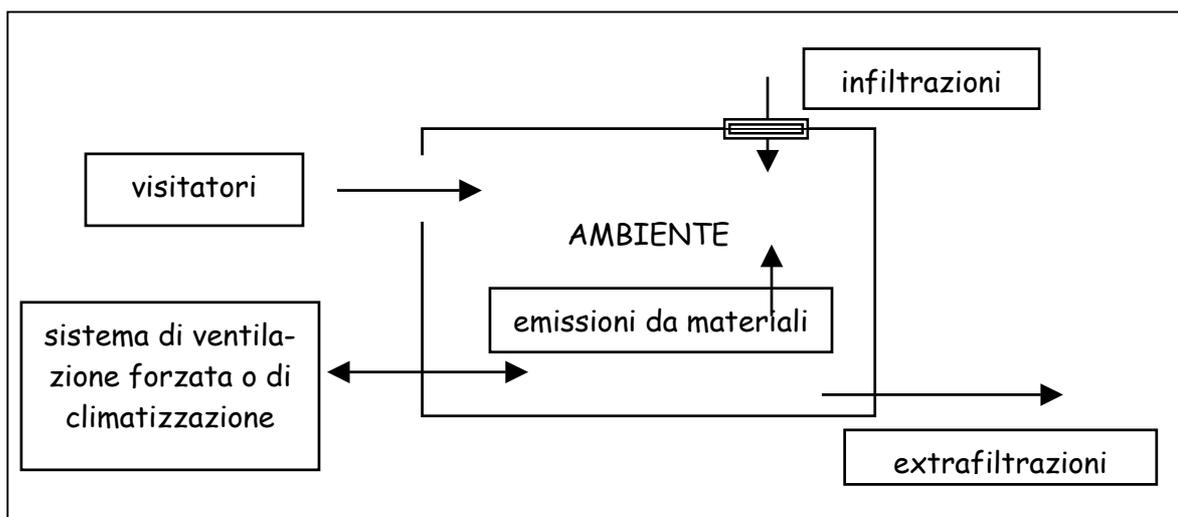


Figura 2.1 - Schema con le possibili veicolazioni di inquinanti in un ambiente museale

Qui di seguito sono presentate le principali caratteristiche degli inquinanti più dannosi per l'ambiente museale.

2.3.2.1 *Gli ossidi di carbonio*

Gli ossidi di carbonio presenti negli ambienti sono il monossido, CO e il biossido, meglio conosciuto come anidride carbonica, CO_2 .

Il monossido di carbonio

Il monossido di carbonio, la cui produzione è legata ad attività antropiche quali processi di combustione, sistemi di riscaldamento e traffico veicolare, non ha effetti diretti sui manufatti, ma agisce come precursore del biossido di carbonio.

L'anidride carbonica

La presenza di CO₂ è essenzialmente legata alla presenza dei visitatori e, eventualmente, a processi di combustione; la quantità di anidride carbonica rilasciata dal corpo umano dipende dal livello metabolismo energetico e, quindi, varia al variare dell'attività fisica, dell'età, del sesso e della massa corporea. L'anidride carbonica non risulta tossica per concentrazioni al di sotto delle 10.000÷15.000 ppm; il valore massimo ammissibile è posto pari a 5.000 ppm e una concentrazione di 1000 ppm è considerata fin dai tempi di Pettenkofer, nel 1858 (Fracastoro, 1997) il limite da non valicare per non rendere sgradevole l'odore dell'aria. Valori pari a circa 40.000 ppm sono considerati di pericolo.

Per quanto riguarda gli effetti sui materiali, l'anidride carbonica in presenza di acqua reagisce con il carbonato di calcio, noto comunemente come calcare, e forma acido carbonico, H₂CO₃, solubile in acqua, secondo la reazione:



Quanto maggiore è la concentrazione di CO₂ in soluzione, tanto maggiore è la formazione di bicarbonato solubile, mentre la diminuzione della concentrazione di CO₂ porta alla ricristallizzazione del carbonato che determina la disgregazione e la formazione di veli di carbonato sulla superficie dei manufatti quali pietre calcaree e affreschi.

In generale, i livelli di concentrazione di ossidi di carbonio che si possono raggiungere all'interno di un museo non sono elevati e non costituiscono fonte di rischio né per le persone né per gli oggetti; in ogni caso, eventuali concentrazioni elevate vanno ridotte adottando tecniche di rimozione o riduzione delle fonti (chiaramente difficile nel caso dei visitatori) o intervenendo sulla ventilazione.

Va infine ricordato che è ormai molto diffusa l'abitudine di utilizzare la CO₂ come inquinante di riferimento (Alfano et al., 2003, Alfano et al., 2005) in quanto tiene conto dell'efficacia del sistema di ventilazione.

2.3.2.2 *I derivati dello zolfo*

Tra i derivati dello zolfo il più comune è senza dubbio il biossido di zolfo.

Il biossido di zolfo

L'SO₂, anche detto anidride solforosa, è presente in elevata quantità in atmosfera, essendo prodotto della combustione dei fossili: nella combustione lo zolfo si combina con l'ossigeno presente nell'aria e si forma il biossido di zolfo, che di per se stesso è un acido di medie caratteristiche, ma che è molto reattivo in atmosfera dove, combinandosi con molecole di ossigeno e di vapore, porta alla formazione di anidride solforica, SO₃ e quindi di acido solforico, H₂SO₄ e solfati secondo le seguenti reazioni:



Il biossido di zolfo danneggia:

- i materiali in cellulosa quali carta, cotone, lino, mentre non intacca quasi tutte le fibre sintetiche, a parte il rayon che è una forma "ricostituita" del cotone. Il grado di danneggiamento varia in funzione di molti fattori, quali la presenza di catalizzatori come il ferro ed il tasso di umidità relativa (un valore centrale all'intervallo 30 - 70 % di UR non dovrebbe influenzare molto il fenomeno). La presenza di SO₂ peggiora inoltre l'effetto della luce e delle radiazioni UV sulla carta, anche se la carta presenta particolari problemi di conservazione, che pare siano essenzialmente legati alla presenza

di impurità ed in particolare della lignina, una sostanza che catalizza l'assorbimento di inquinanti acidi; ad esempio, mentre libri centenari in carta fatta di stracci sono rimasti in buone condizioni anche in ambienti urbani, altri libri mostrano bordi ingialliti ed infragiliti anche solo dopo una decina d'anni;

- i materiali proteici quali seta, lana, pelle, pergamene, anche se in diversa misura. Il cuoio o il pellame, così come le pergamene, se esposti a lungo all' SO_2 possono essere ridotti in polvere da un leggero sfregamento. La seta, ed in minore misura la lana, sono sensibili all' SO_2 soprattutto in combinazione con il fattore luce;
- i metalli di cui sono di solito costituiti gli oggetti di interesse museale, quali il ferro, il bronzo, il rame e l'argento. Il ferro si corrode mediante meccanismi elettrochimici, che si verificano nel caso di presenza di un film di elettrolita sulla superficie metallica, cioè di presenza di una fase acquosa liquida interposta tra il metallo e l'aria dell'ambiente, che ha spesso origine dalla condensazione sulla superficie metallica del vapor d'acqua presente nell'aria; l'entità dell'attacco dipende dalla natura del film e dalla sua permanenza;
- gli elastomeri, tessuti sintetici che perdono elasticità e flessibilità.
 - I solfati di zolfo danneggiano:
 - il piombo, quando formano particolari acidi acetici e diventano corrosivi.
 - i bronzi antichi e gli oggetti in rame, spesso ricoperti da una patina di colore verde-azzurro, che è un composto derivato dal solfato di rame (Cu_2O) noto come brochantite ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$). Generalmente tale patina è stabile, ma in alcune leghe del bronzo, soprattutto se ricche di piombo, si formano dei piccoli fori spesso visibili ad occhio nudo. Per il bronzo "nudo", cioè privo di patina, non ci sono grandi effetti dannosi a meno che l'UR non superi il 60 - 70 %.

- l'argento, che attaccato dal solfuro di idrogeno (H₂S) perde di lucentezza a causa di un film di ossido che si forma sulle superfici esposte.

L'acido solforico

L'H₂SO₄, che in condizioni normali non è pericoloso per le persone, è altamente corrosivo e nel momento in cui si deposita su un materiale, non essendo una sostanza volatile, non può essere eliminato con la semplice ventilazione. Agisce sui materiali come gesso, calcare, marmo, affreschi ed arenaria alcalina creando la solfatazione dei carbonati di calcio, con conseguente rischio di dilavazione in presenza di acqua liquida.

2.3.2.3 *L'ozono*

La presenza dell'ozono negli ambienti confinati è dovuta a cause esogene, in quanto l'ozono è tra i componenti dell'aria, ed endogene, in quanto esso viene emesso in maniera significativa da apparecchiature che funzionano con tecnologia laser, quali stampanti e fax, da apparecchi che producono raggi ultravioletti, da filtri elettronici per pulire l'aria non correttamente installati o senza adeguata manutenzione, da ionizzatori dell'aria. All'esterno la formazione di ozono è una delle conseguenze del cosiddetto smog fotochimico, provocato da temperature medio-alte, forte insolazione e condizioni di alta pressione stabile; in queste condizioni, la forte insolazione provoca, per effetto della radiazione ultravioletta, la formazione fotochimica di ozono e di ossidi di azoto e dunque l'accumulo nell'atmosfera di inquinanti particolarmente pericolosi. La reazione principale parte dal biossido di azoto, NO₂, che è uno dei prodotti delle reazioni di combustione, che viene fotodissociato dalla radiazione UV secondo la reazione:



L'ossigeno monoatomico così prodotto reagisce con l'ossigeno presente

nell'aria formando ozono:



che a sua volta reagisce nuovamente col monossido di azoto:



Questo ciclo di reazioni può portare a concentrazioni di ozono anche di 0,4 ppm contro le 0,02÷0,05 ppm dell'aria non inquinata (D'Agostino, 2002).

L'ozono, in passato considerato coadiuvante per la salute dell'uomo, è uno dei più forti ossidanti conosciuti, ed è ormai considerato tossico in quanto tende a ridurre la funzione polmonare nell'organismo umano e aumenta il rischio di infezioni alle vie respiratorie. L'esposizione anche per breve periodi a concentrazioni di ozono superiori a 0,4 ppm può pertanto ridurre l'efficacia dei sistemi di difesa, quali ad esempio l'abilità dei polmoni a inattivare batteri e virus; l'esposizione continua a concentrazioni ridotte (0,08÷0,1 ppm) ha un effetto comprovato sulla irritazione degli occhi e dei tratti respiratori. In corrispondenza di esposizione a concentrazioni superiori a 0,1 ppm cominciano a comparire i primi disturbi, sia pure di lieve entità; tale concentrazione può essere superata solo in alcune circostanze particolari, ad esempio all'interno di cabine di aerei ad alta quota (D'Agostino, 2002).

Per quanto riguarda gli effetti sui materiali, l'ozono attacca e infragilisce le gomme, indebolisce i tessuti e stinge i colori (Fracastoro, 1997); ha un effetto molto dannoso sui composti organici insaturi, quali pelle e pigmenti naturali, in quanto con l'ossidazione le molecole vengono letteralmente spezzate ed il materiale si distrugge. Inoltre, l'ozono aumenta il grado di ossidazione dell'argento e del ferro e favorisce la solforazione sia del rame che dell'argento.

Fortunatamente, i livelli di ozono in ambienti indoor tendono a decadere velocemente in assenza di una fonte di mantenimento: il suo periodo di dimezzamento è infatti di 30 minuti.

2.3.2.4 *Gli alogeni*

Alcune lavorazioni industriali e artigianali producono alogeni, essenzialmente i fluoruri ed i cloruri, e gli acidi a loro corrispondenti che, anche a bassa concentrazione, producono effetti dannosi quali l'ossidazione e la corrosione dei metalli, l'opacizzazione dei vetri, la decomposizione di ceramiche, terrecotte e pietre silicee.

2.3.2.5 *I Composti Organici Volatili (VOC)*

I composti organici volatili, comunemente designati con l'acronimo inglese VOC, sono una grande famiglia di sostanze tra cui prevalgono gli alcani, i cicloalcani, gli idrocarburi aromatici e clorurati e le aldeidi. Tra queste, le più diffuse in ambiente residenziale sono il diclorometano, il limonene, il toluene, ma il più importante dal punto di vista tossicologico e mutagenico è la formaldeide, recentemente inserita dallo IARC, International Agency for Research on Cancer, tra i carcinogeni sospetti per l'uomo (Alfano et al., 2005).

La presenza di VOC nell'aria ambiente è legata all'uso di numerose sostanze, quali solventi, deodoranti, tarmicidi, colle, vernici, prodotti per la pulizia, cere per pavimento, ecc. Sono inoltre causa di formazione di VOC i processi di combustione, il fumo da tabacco, il metabolismo umano e gli stessi impianti di condizionamento (Fracastoro, 1997).

Anche se presenti a bassa concentrazione, i VOC danneggiano i materiali ceramici o a base di calcio, quali conchiglie e coralli, che possono essere macchiati, scoloriti, infragiliti e che possono presentare efflorescenze superfi-

ciali, i metalli, che vengono ossidati e corrosi, e gli oggetti sintetici, che possono diventare scoloriti, fragili e friabili.

2.3.2.6 *Il particolato aerodisperso*

Per particolato aerodisperso, o semplicemente particolato, si intende il materiale particellare in sospensione nell'aria. All'esterno le particelle sospese derivano in varia misura da tutte le principali fonti di inquinamento atmosferico: impianti fissi di combustione, traffico motorizzato e sorgenti industriali; in particolare, la composizione del particolato da combustione varia in base al tipo di combustibile e alle condizioni in cui avviene la combustione; all'interno il particolato può essere presente in quanto penetrato dall'esterno o perché prodotto dalla combustione e dalle attività antropiche, oltre che dagli arredi e in generale da tutti quei materiali che con l'aumentare del degrado si scompongono in polvere e/o disperdono nell'aria microfibre.

Il particolato aerodisperso nel suo complesso viene definito *Particolato Totale Sospeso* (PTS): in particolare, si definisce PM_{10} l'insieme delle particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 micron e $PM_{2,5}$ l'insieme delle particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 micron. In Italia, i livelli medi esterni di particelle totali sospese (PTS) sono dell'ordine di 0,06-0,08 mg/m^3 e quelle di PM_{10} dell'ordine di 0,04÷0,06 mg/m^3 (Conferenza Stato-Regioni, 2001).

La pericolosità del particolato aerodisperso per l'uomo è legata alla sua capacità di adsorbire gas e vapori tossici sulla superficie delle particelle, il che contribuisce ad aumentare le concentrazioni degli inquinanti gassosi che raggiungono le zone più profonde del polmone. La frazione di polveri considerata maggiormente preoccupante per la salute è quella più fine (PM_{10} e $PM_{2,5}$), a causa della sua capacità di superare le barriere delle vie aeree superiori e quindi di raggiungere le parti più profonde dell'apparato respiratorio.

La polvere, la fuliggine, i residui di fumo di tabacco, le fibre tessili spezzate e tutto ciò che è compreso nel particolato aerodisperso costituiscono un problema per la conservazione. Il materiale particellare ha spiccate capacità catalitiche e, in particolari situazioni, può dar luogo a formazione di acidi. Il deposito¹ del particolato è la causa primaria dello sporco delle superfici dei manufatti causato dall'accumulo di particelle carboniose incombuste e causa nel tempo alterazioni e corrosioni delle superfici dei materiali (Lorusso, 2004).

La deposizione è influenzata dalla tipologia della superficie, dai meccanismi di trasporto, dal clima e dalla granulometria delle particelle², che possono essere classificate in:

- fini: con diametro compreso tra 0,05 e 2 μm , il cui comportamento è assimilabile a quello dei gas;
- grossolane: con diametro maggiore di 2 μm ;

l'adesione superficiale è favorita da rugosità, umidità, forze elettrostatiche.

Alcuni studi condotti sia in atmosfera libera che all'interno di musei (Bernardi e Camuffo, 1995) hanno evidenziato che nelle ore di apertura al pubblico si verifica un sensibile aumento delle particelle con diametro maggiore di 1 μm , che non c'è ciclo giornaliero per particelle fini con diametro minore di 0,5 μm e che nelle ore notturne, generalmente, le particelle con diametro maggiore di 1 μm sedimentano velocemente per gravitazione. Sempre Bernardi e Camuffo (1995) hanno rilevato che l'aumento della concentrazione del

¹ Il tempo di deposizione di una particella di particolato è inversamente proporzionale al quadrato del diametro della stessa particella, secondo la legge di Stokes: una particella con diametro di 100 μm impiega poco più di 4 secondi per cadere da un'altezza di 1 m, mentre una di diametro 1 μm può restare in sospensione per ore; una volta che il particolato si è depositato sulle superfici degli oggetti, la sua rimozione richiede strofinamenti, lavaggi e scuotimenti che accelerano il degrado degli oggetti stessi incrementandone il rischio di danneggiamento fisico-chimico.

² Il flusso di un inquinante su un materiale, nel caso di deposizioni secche viene espresso in unità di massa di inquinante per unità di superficie e di tempo.

particolato durante le ore diurne, quando l'ambiente è aperto al pubblico, può essere imputato alla presenza dei visitatori, al funzionamento di sistemi di riscaldamento o condizionamento o umidificazione, alle operazioni di pulizia dell'ambiente, soprattutto se effettuate con i metodi usualmente impiegati nelle abitazioni (aspirapolvere, scope, ecc); in ogni caso, il fenomeno è più significativo se vi sono tappeti o moquette.

Va poi tenuto presente che le particelle minerali generalmente presenti nella polvere, soprattutto in presenza di acqua, possono diventare chimicamente attive; inoltre, possono contenere uova di insetti, spore di miceti e di batterie e, in condizioni termoigrometriche adeguate (temperatura compresa tra 20 e 30 °C ed umidità relativa superiore al 65 %), possono favorire lo sviluppo degli agenti del biodegrado, in particolare nei materiali a base di cellulosa (Aghemo et al., 1997).

2.3.2.7 I contaminanti biologici

I contaminanti biologici presenti nell'aria interna sono classificabile in quattro categorie:

- microrganismi, tra cui funghi e batteri;
- insetti, quali acari e aracnidi;
- materiale biologico, per esempio escrementi di animali, frammenti di esoscheletro e forfora;
- materiale organico di origine vegetale, essenzialmente pollini;

evidentemente, quelli di interesse nella conservazione sono quelli appartenenti alla prima categoria, dei quali si parlerà nel seguito.

Microrganismi

I microrganismi sono tutti organismi unicellulari caratterizzati da dimensioni molto piccole, visibili solo al microscopio; sono assegnati al regno dei "protisti" (organismi primitivi) che si distinguono dagli animali e dalle piante

per la loro organizzazione relativamente semplice e che sono classificati in base alla loro complessità sia organizzativa come segue:

- protisti superiori, comprendenti alghe, protozoi e funghi, caratterizzati da una struttura cellulare eucariotica, ossia con un nucleo organizzato ed evidente. Queste cellule sono identiche a quelle di organismi pluricellulari.
- protisti inferiori comprendenti i batteri e microrganismi affini, caratterizzati da una struttura cellulare procariotica, ossia con un nucleo primitivo.

I microrganismi trovano il loro terreno di coltura in ambienti umidi, quindi, per esempio, sulle superfici delle pareti affette da fenomeni di condensa superficiale, nei componenti degli impianti di condizionamento in cui c'è presenza di acqua, nelle pareti di canali la cui mancata manutenzione provoca accumuli di polveri, eventualmente inumiditi da fenomeni di condensa superficiali.

Gli effetti della presenza di microrganismi su carta, pitture su tela e canovaccio, legno, fotografie ed altri materiali in cellulosa sono visibili ad occhio nudo: inizialmente si formano delle “macchie” di vari colori e poi, col passare del tempo, il materiale perde di consistenza e si disintegra (de Guichen e de Tapol, 1998). I tessuti si macchiano irreversibilmente, si bucano e perdono di consistenza, la pelle e la plastica si macchiano e infragiliscono. I papiri resistono meglio all'attacco dei microrganismi poiché nella manifattura originale si usava olio di cedro che riduce l' igroscopicità del materiale.

Per quanto riguarda invece gli effetti sulle persone, bisogna fare una distinzione tra funghi e batteri.

Funghi

Con questo termine si indica un vasto gruppo di microrganismi, afferenti alla classe dei protisti superiori, cui appartengono tra l'altro i funghi comuni, le muffe, i lieviti, i funghi del suolo; possono essere sia organismi unicellula-

ri, i lieviti, sia filamentosi pluricellulari, le muffe, la cui presenza sulle superfici viene rilevata tramite macchie vellutate di colore bianco, verde e grigio.

Il corpo di un fungo si origina sempre da un elemento unicellulare, la spora, che dà luogo alla germinazione ogni qualvolta il valore del grado igrometrico dell'aria nell'adiacenza di una superficie rimane, per un sufficiente periodo di tempo, più alto di un valore di soglia detto attività minima, a , ovvero quando si verifica la condizione:

$$\phi = \frac{p_v}{p_{vs}} \geq a \quad (2.8)$$

con:

p_v = pressione parziale del vapore nell'aria, Pa

p_{vs} = pressione di saturazione del vapore nell'aria, Pa;

a = attività minima, funzione di temperatura, specie fungina, tipo di substrato, adim.;

la specie fungina che richiede il minimo grado di attività è l'*Aspergillus versicolor*, cioè la muffa, il cui grado di attività minima è pari al 75% su molti materiali idroassorbenti; in generale, si assume $a = 80\%$ per materiali da costruzione e finitura, mentre per le superfici pulite con regolarità e non idroassorbenti, quali il vetro ed i metalli, si può assumere $a = 100\%$ (Fracastoro, 1997).

Le spore dei funghi sono presenti sia negli ambienti interni che in quelli esterni in concentrazioni molto diverse, il che ha impedito di stabilire criteri specifici da utilizzare in studi comparativi e valutazioni.

I funghi traggono alimento da una grande varietà di materiali quali legno, cellulosa, fibre vegetali, colle e vernici contenenti sostanze proteiche; possono inoltre attecchire anche su superfici metalliche o plastiche, in presenza di depositi nutrienti che possono essere rappresentati da polveri accumulate: un e-

sempio è la proliferazione di colonie fungine sui rivestimenti isolanti e fonoassorbenti all'interno delle condotte dell'aria condizionata, con relativa diffusione di spore direttamente in ambiente.

Le specie fungine più diffuse negli edifici sono quelle appartenenti ai generi *Penicilium* e *Aspergillus*; per quanto riguarda quest'ultima, sebbene ne esistano diverse centinaia di specie, solo poche sono patogene per l'uomo, tra le quali l'*Aspergillus Fumigatus*, l'*Aspergillus Flavus*, l'*Aspergillus Tenus*.

Le muffe sono responsabili di numerose reazioni allergiche quali asma, rinite, dermatite; possono inoltre indurre altre forme patologiche pericolose come la micotossicosi, infezioni vere e proprie a carico di vari organi e allergie: si stima che una persona su cinque in Italia soffre di allergie dovute in gran parte a questi microrganismi. Inoltre, le muffe emettono come metaboliti sostanze organiche volatili, responsabili tra l'altro del tipico "odore di muffa", nonché di molti sintomi tipici della SBS (sindrome dell'edificio malato), quali irritazioni di naso, occhi, gola, cefalea, affaticamento.

Batteri

I batteri sono microrganismi unicellulari molto semplici con organizzazione cellulare di tipo procariotico, la cui riproduzione avviene nella maggior parte dei casi per scissione degli stessi batteri³. In condizioni favorevoli, la crescita e la divisione batterica avvengono con grande rapidità e cioè ogni mezz'ora o meno, in modo che ogni singola cellula può produrre in un giorno centinaia di milioni di nuovi microrganismi: un batterio che si divide ogni 20 minuti in condizioni di colture artificiali adatte si moltiplica circa un miliardo di volte ogni 10 ore. I batteri hanno una distribuzione ubiquitaria per la loro capacità di adattamento quindi sono capaci di colonizzare qualsiasi ambiente.

³ Anche se molte specie batteriche hanno la proprietà di formare endospore, questo processo non comporta una moltiplicazione, in quanto nella sporulazione ciascuna cellula vegetativa forma solo una spora e nella successiva germinazione ciascuna spora forma un'unica forma vegetativa.

La temperatura è fra gli agenti fisici quello che più influenza le proprietà biologiche dei batteri. Per ogni specie batterica esiste un piccolo intervallo di temperatura all'interno del quale lo sviluppo viene favorito, ma la vita del batterio si può mantenere anche per valori di temperatura di poco esterni a tale intervallo.

I batteri patogeni sono capaci di produrre tossine che determinano sugli organismi viventi alterazioni funzionali e anatomiche caratteristiche dei vari processi infettivi. E' da sottolineare in proposito il concetto di carica infettante: ovvero la presenza di un determinato agente patogeno nell'aria non è sufficiente di per sé a causare la malattia, ma è necessario inalare una adeguata quantità minima di microrganismi per scatenare l'infezione; per questo motivo è assolutamente importante una adeguata ventilazione degli ambienti, in modo da tenere bassa la concentrazione di eventuali batteri infettanti presenti in sospensione nell'aria.

Tra i batteri patogeni che possono essere presenti nell'aria indoor ricordiamo:

- *Stafilococco Aureus* che può essere causa di malattie quali impetigine (infezione superficiale della pelle), ascessi e polmonite;
- *Pseudomonas Aeuruginosa*, generalmente presente nel terreno e nelle acque dolci (vaschette di condensa). E' la causa di circa il 4% delle infezioni delle vie urinarie, della maggior parte delle infezioni dell'orecchio esterno e di polmoniti ed è notevolmente resistente alla maggior parte degli antibiotici
- *Legionella pneumophila*, isolato per la prima volta nell'estate del 1976 in seguito ad un contagio di polmonite tra i membri dell'American Legion durante una convention in una sala di un albergo a Philadelphia (D'Agostino, 2002), responsabile della malattia dei Legionari.

Il batterio della legionella varia in lunghezza da 2 a 3 μm con larghezza tra 0,5 e 1,0 μm ; è un batterio acquatico, capace di formare rapidamente colonie anche entro i sistemi idraulici prodotti dall'uomo dai quali poi passa nell'ambiente circostante in forma di aerosol che, se inalati da persone suscettibili, anziani o immunodepressi, possono indurre lo sviluppo della "malattia del legionario" che, nei casi più gravi, può avere esito mortale. Le temperature favorevoli per la crescita della legionella vanno da 25 °C a 42 °C; le temperature ottimali sono comprese tra 35 e 37 °C. Il batterio può rimanere dormiente a temperature minori di 20 °C; muore invece a temperature superiori a 55 °C.

2.3.2.8 *I valori consigliati per le concentrazioni di contaminanti in ambiente museale*

In Tabella 2.3 sono riportati i valori limite raccomandati per alcune sostanze inquinanti negli ambienti museali, mentre in Tabella 2.4, 2.5 e 2.6 sono riportati rispettivamente le unità di misura normalmente utilizzate per le concentrazioni di inquinanti, i fattori di conversione tra le unità di misura della concentrazione e quelli da ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per alcuni contaminanti.

Tabella 2.3 - Valori raccomandati per le sostanze inquinanti negli ambienti museali

Fonte bibliografica	Sostanze inquinanti			
	NO ₂	SO ₂	Ozono	Particolato
Thomson, 1986	<10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (=5,3 ppb)	<10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (=3,8 ppb)	<2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (=5,1 ppb)	-
Iwata et al., 2000	<5 ppb	-	<1 ppb	-
M.BB.CC., 2001 ⁴	5-10 ppb	5-10 ppb	5-10 ppb	20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
M.BB.CC., 2001 ⁵	<2,5 ppb	<0,4 ppb	<1 ppb	20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

⁴ Valori consigliati per gli archivi.

⁵ Valori consigliati per i musei.

Tabella 2.4 - Unità di misura della concentrazione per gli inquinanti

Tipo di inquinante	Unità di misura raccomandate	Altre unità di misura
Aeriforme	Parti per milione in volume (ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$, mg/m^3 , g/kg , %
Particolati	$\mu\text{g}/\text{m}^3$, mg/m^3	numero di particelle al m^3
Inquinanti biologici	cfu^6/m^3	cfu/l , cfu/g
Gas radioattivi	Becquerel ⁷ (Bq) al m^3	Curie (Ci)

Tabella 2.5 - Coefficienti di conversione tra le unità di misura della concentrazione degli inquinanti.

Moltiplicare le	per	per ottenere
ppm (riferite al volume a 25 °C e 101 kPa)	massa molecolare/24,45	mg/m^3
%	$1 \cdot 10^4$	ppm

Tabella 2.6 - Coefficienti di conversione da ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e viceversa per il biossido di zolfo SO_2 , il biossido azoto NO_2 e l'ozono O_3 . Da (Thomson, 1986).

sostanza	Unità di misura	conversione
SO_2	1 ppb (0,001 ppm)	= 2,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_2	1 ppb (0,001 ppm)	= 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O_3	1 ppb (0,001 ppm)	= 2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO_2	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	= 0,38 ppb
NO_2	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	= 0,53 ppb
O_3	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	= 0,51 ppb

2.3.3 I danni subiti dall'oggettistica museale a seguito della presenza di inquinanti

Da quanto finora detto, risulta evidente che tra manufatti ed ambiente esistono complesse e molteplici sinergie, non facilmente sintetizzabili.

In Tabella 2.7 è riportato un elenco dei principali danni causati ad una serie di materiali dagli inquinanti e da altri fattori ambientali; in Tabella 2.8, per diverse categorie di materiali (metalli, materiali naturali, materiali sintetici)

⁶ L'unità cfu (colony forming units) è una misura del numero di microrganismi presenti in un dato campione (solido, liquido o aeriforme), basata sulla proprietà di un singolo microrganismo di formare una colonia (visibile a occhio nudo) quando cresciuto su un terreno di coltura semisolido (per es. Agar).

⁷ Il Becquerel (Bq) è l'unità di misura della radioattività: 1 Bq = disintegrazione di 1 radionuclide al secondo.

sono elencati gli inquinanti dannosi suddivisi in due classi, in funzione del livello di esposizione.

Tabella 2.7 - Danni indotti dalla presenza di inquinanti e da altri fattori ambientali nei materiali museali. Da (Sacchi, 1997)

Materiale	Tipi di danno	Inquinanti	Altri fattori ambientali
metalli	corrosione, opacizzazione	ossido di zolfo e azoto, solfuro di idrogeno, cloruri, particolato, ozono	umidità
pitture	scolorimento, insudiciamento	ossido di zolfo, solfuro di idrogeno, aerosol alcalini, ozono, radiazione solare, particolato, microrganismi	umidità
carta, materiale d'archivio	scolorimento, infragilimento	ossido di zolfo, solfuro di idrogeno, particolato	umidità
materiale fotografico, film	micromacchie, solfurazione	ossido di zolfo, solfuro di idrogeno, particolato	umidità
tessuti	riduzione resistenza meccanica, insudiciamento	ossidi di zolfo e azoto, ozono, particolato	umidità, luce, uso, lavaggio
coloranti, pigmenti	scolorimento, infragilimento	ozono, ossidi di azoto	luce, alta temperatura
cuoio	infragilimento, superficie polverizzata	ossido di zolfo, residui acidi da lavorazione	uso
gomma	scrapatura, perdita di elasticità	ozono, biossido di zolfo	radiazione solare, uso
pietra, marmo, intonaco	deterioramento, imbrattamento, sgretolamento	ossido di zolfo, acido nitrico, ossidi di azoto, particolato	umidità
vernici	annerimento	solfuro di idrogeno, particolato, ozono	umidità
vetro	scalfitura, opacizzazione	acido cloridrico	
affreschi	sgretolamento	acido solforico, ossido di zolfo	umidità
legno, mobili di legno	infragilimento	ozono	umidità
collezioni naturalistiche	infragilimento	ozono	umidità

Tabella 2.8 - Inquinanti dannosi per i materiali museali suddivisi in due classi: quelli dannosi solo per esposizioni intense e quelli dannosi anche per esposizioni moderate. Per esposizione intensa si intendono condizioni termoigrometriche severe e elevata concentrazione di contaminanti; per esposizione moderata si intendono condizioni termoigrometriche moderate e basse concentrazioni di inquinanti; i materiali indicati come fattori che causano danni in condizioni di moderata esposizione non sono ripetuti nella colonna relativa alla intensa esposizione. Da (Tétrault, 1999), modificata.

Materiali	Esposizione intensa	Esposizione moderata
Metalli (rischi: ossidazione e corrosione)		
Alluminio	ammoniaca, formaldeide, acido formico, acido cloridrico e acido solfidrico	
Ottone	acido acetico, anidride acetica, acido cloridrico, acido solfidrico e acido fosforico	formaldeide
Bronzo	ammine	acido acetico e formaldeide
Cadmio	acido acetico	
Rame e Leghe	acetati, acido acetico, ammine, ammoniaca, formaldeide, acido formico, perossidi e acido fosforico	composti dello zolfo
Piombo	anidride acetica, acidi grassi, acido formico, perossidi	acido acetico e formaldeide
Magnesio	acido acetico	
Nichel	acido fosforico	
Ferro e Leghe	acetaldeide, acido acetico, ammine, ammoniaca, solfuro di carbonio, acidi grassi, acido formico, acido cloridrico, perossidi e acido fosforico	
Argento	formaldeide	composti dello zolfo
Zinco	acido acetico e formaldeide	acetato di cellulosa
Materiali naturali (rischi: macchie, scolorimento, infragilimento, friabilità, formazione di efflorescenze in superficie)		
Oggetti a base di calcio (conchiglie, corallo, calcare, ulexite...)	acido acetico (per ossa)	acido acetico e formaldeide

(continua)

Tabella 2.8 - (segue)

Materiali	Esposizione intensa	Esposizione moderata
Cellulosa	acido acetico	acidi grassi e composti dello zolfo
Ceramiche		ammoniaca
Cotone tinto		ossido/i di zolfo
Tinture/coloranti	acido solfidrico e biossido di zolfo	
Pigmenti di piombo	formaldeide e acido solfidrico	
Pigmenti, tinture, oli di lino (in generale)	polvere alcalina	
Gomma	acetati	
Seta	polvere alcalina	ossido/i di azoto
Materiali tessili	idrossitoluene butilato e biossido di zolfo	ossido/i di azoto
Cuoio conciato a base vegetale	biossido di zolfo	
verderame	formaldeide	
Materiali sintetici (rischio di scoloritura, fragilità, friabilità)		
Plastica (in generale)		tolilene diisocianato
Acrilico	acetato, acido formico e toluene	
Acetato di cellulosa	acetato, formaldeide, acido cloridrico, ossido/i di azoto e acido fosforico	acido acetico
Epossido	acido acetico, solfuro di carbonio, acetato di etile, acido formico, ossido di azoto e perossidi	
Acetato di etile	formaldeide	
Neoprene	acido acetico, ammine, acidi grassi, formaldeide, perossidi, acido fosforico, biossido di zolfo e toluene	
Nitrile	acido acetico	
Nylon	acido acetico, acido formico, acido solfidrico, perossidi e acido fosforico	

(continua)

Tabella 2.8 - (segue)

Materiali	Esposizione intensa	Esposizione moderata
Polietilene	acetati, acido acetico, anidride acetica, ammine e toluene	
Polivinilcloruro (PVC)	acetaldeide, acetati, anidride acetica, ammine e toluene	
Polipropilene	perossidi, biossido di zolfo e toluene	
Polistirene	acetati, acido acetico, ammoniaca, acidi grassi, formaldeide perossidi e toluene	
Poliuretano	anidride acetica, ammine, ammoniaca, acido formico e acido solfidrico	
Gomma	acetati	
Silicone	acetati, formaldeide e toluene	
Miscellanea (rischio di scolorimento, fragilità, friabilità)		
Igrometro a capello	polvere alcalina	
Microfilms a colori	biossido di zolfo	
Carta stampata	formaldeide	
Diapositive da fotografia a colori	acido solfidrico	acido acetico, acidi grassi e perossidi
Oggetti porosi		polvere, acqua
Pigmenti organici e inorganici	ossido di azoto	
Oggetti organici e inorganici	acido solforico	ftalati plastificanti, residui di sostanze in decomposizione, tannino, acqua
Oggetti porosi		polvere, acqua
Pigmenti organici e inorganici	ossido di azoto	
Oggetti organici e inorganici	acido solforico	ftalati plastificanti, residui di sostanze in decomposizione, tannino, acqua

Per quanto riguarda la correlazione tra tempo di esposizione agli inquinanti e relativi effetti (Tétrault, 2003), c'è da dire che da non molto tempo sono stati introdotte due tipologie di approccio proprio per quantificare questa relazione; il “No Observed Adversed Effect Levels e il Lowest Observed Adversed Effect Dose” (NOAEL e LOAED). Il NOAEL indica la massima quantità di inquinante, misurata in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, che non produce effetti chimici o fisici avversi su uno specifico materiale (viene quantizzato in determinate condizioni sperimentali), il LOAED è la dose cumulata di inquinante (misurato in concentrazione per tempo) in corrispondenza della quale è possibile osservare e misurare effetti di danno. In pratica, quando il NOAEL non è determinabile con certezza o se il risultato non è verosimile, una misura può essere comunque data come prodotto della concentrazione di inquinante e il tempo necessario per osservare nel materiale il primo segno di effetto ritenuto avverso.

2.4 UN ESEMPIO DI INTERAZIONE TRA LE CAUSE DI DEGRADO: LA CORROSIONE DEI MATERIALI METALLICI

I materiali metallici sono soggetti a reazioni chimiche di ossidoriduzione, dovute all'interazione tra un metallo o una sua lega e l'ambiente circostante. Il fenomeno della corrosione elettrochimica interessa il passaggio degli ioni metallici positivi dal reticolo cristallino del metallo stesso all'ambiente esterno, dove vengono stabilizzati da ioni negativi (reazione anodica); gli elettroni liberati o reagiscono con cationi riducendoli (reazione catodica), in presenza di umidità, oppure generano anioni in presenza di una soluzione acquosa con la superficie metallica. Le due reazioni, anodica e catodica, grazie alla mobilità degli elettroni possono avvenire anche in due punti distanti del manufatto; ad esempio, in presenza di un oggetto contenente metallo e lambito da fenomeni di trasporto di massa non omogenei, si verranno a creare due zone: una meno ossigenata, la zona anodica, caratterizzata dagli ioni metallici in soluzione con conseguente formazione ad esempio di ruggine, una più ossigenata, la zona catodica, caratterizzata dalla riduzione dell'ossigeno. Il fenomeno di ossidoriduzione può essere fortemente accelerato in presenza di manufatti con metalli a diverso potenziale elettrochimico, poiché in questo caso il metallo meno nobile tenderà a dissolversi essendo interessato da una reazione anodica, mentre il metallo più nobile resterà intatto essendo interessato da una reazione catodica.

Va ricordato che talvolta la corrosione avviene in assenza di umidità, a seguito del contatto tra un metallo e un reagente chimico quale ossigeno, anidride carbonica, acido solfidrico: in questo caso si parla di corrosione secca o chimica.

La morfologia corrosiva che si presenta sull'oggettistica museale è diversa a seconda della velocità e della modalità con cui la superficie viene attaccata; in particolare (Lorusso, 1995):

- per attacco uniforme la corrosione è uniforme su tutto il manufatto;
- per attacco selettivo la corrosione interessa solo alcuni costituenti o fasi del materiale;
- per attacco localizzato una zona del manufatto funge totalmente da anodo rispetto alla superficie circostante;
- per attacco a pitting si ha corrosione puntiforme;
- per attacco intergranulare o intercristallino lungo i bordi dei cristalli metallici si hanno seri danni all'interno del manufatto;
- per attacco intergranulare la corrosione interessa l'interno dei grani, dove produce cavità;
- per attacco stratificato la corrosione ha andamento stratificato tipico dei materiali disomogenei sia chimicamente che strutturalmente.

Non sempre il fenomeno della ossidazione è preoccupante per l'integrità dei manufatti, infatti in molti casi a livello superficiale un film di ossido compatto rappresenta uno strato protettivo che rallenta il proseguo della corrosione (Lorusso, 2004).

2.5 LA SCELTA DEI PARAMETRI AMBIENTALI

L'Ambito VI, "Gestione delle collezioni", del D.M. 10.5.2001 (M.BB.CC., 2001) prescrive gli intervalli di valori dei parametri ambientali per la conservazione di diverse categorie di opere esposte, indicando:

- i valori termoigrometrici di riferimento per assicurare le condizioni ottimali di conservazione dei manufatti;

- i valori limite raccomandati della concentrazione degli inquinanti aerodisperso;
- i valori limite degli inquinanti biologici atmosferici;
- i vincoli conservativi relativi all'esposizione a fonti luminose;
- i controlli fotometrici raccomandati;
- l'uniformità di illuminamento;
- l'esposizione energetica nelle componenti di dose di luce annuale e di componente UV e radianza totale;
- gli orientamenti gestionali di natura illuminotecnica – sistemi di esposizione temporizzati;
- il controllo della luce naturale;

riprendendo in parte quanto previsto dalla norma UNI 10829 (UNI, 1999).

2.5.1 I valori termoigrometrici consigliati

Nel seguito vengono illustrati i valori delle variabili termoigrometriche che sono indicati come ottimali per i diversi materiali e/o oggetti nella letteratura tecnica; in Tabella 2.9 è riportato, per ciascuna classe di materiale e/o oggetto, il numero della successiva Tabella in cui, per quella specifica classe, compaiono tali valori. La classificazione rispetta i criteri dettata dal Decreto del Ministro per i Beni e le Attività culturali del 10 maggio 2001 (M.BB.CC., 2001), al fine di ottenere maggiore uniformità di informazioni e di semplificare il confronto tra i valori indicati dai diversi autori per i vari materiali ed oggetti.

L'esame delle tabelle suggerisce alcune considerazioni:

- per tutti gli oggetti/materiali quasi tutti gli autori forniscono l'intervallo di valori ottimali per l'umidità relativa, solo alcuni il campo di valori ottimali per la temperatura dell'aria, pochi i valori di variazione massima giornaliera-

ra di umidità relativa, pochissimi i valori per la variazione massima giornaliera della temperatura dell'aria;

Tabella 2.9 Elenco dei materiali e degli oggetti con l'indicazione della scheda corrispondente

Materiali ed oggetti	Tabella n.
Armature in ferro, armi	A.2.9.1
Avori, ossa	A.2.9.2
Bronzo	A.2.9.3
Carta, cartapesta	A.2.9.4
Collezioni anatomiche (animali, organi anatomici essiccati, mummie)	A.2.9.5
Collezioni mineralogiche, marmi e pietre	A.2.9.6
Cuoio, pelli e pergamena	A.2.9.7
Dischi fonografici	A.2.9.8
Nastri magnetici	A.2.9.9
Erbari e collezioni botaniche	A.2.9.10
Film e foto a colori	A.2.9.11
Film e foto in bianco e nero	A.2.9.12
Insetti e scatole entomologiche	A.2.9.13
Lacche orientali	A.2.9.14
Legno	A.2.9.15
Legno dipinto, sculture policrome	A.2.9.16
Libri, manoscritti	A.2.9.17
Materiale etnografico	A.2.9.18
Materie plastiche	A.2.9.19
Metalli e leghe levigati, ottone, argento, peltro, piombo, rame	A.2.9.20
Mobili con intarsi e lacche	A.2.9.21
Mosaici	A.2.9.22
Oro	A.2.9.23
Pitture murali	A.2.9.24
Papiri	A.2.9.25
Pastelli acquerelli, disegni	A.2.9.2
Stampe	A.2.9.27
Pellicce e piume	A.2.9.28
Pitture su tela	A.2.9.29
Porcellane, ceramiche, grès e terracotta	A.2.9.30
Seta	A.2.9.31
Tessuti, tappeti, arazzi, tappezzeria in stoffa	A.2.9.32
Vetri e vetrate stabili	A.2.9.33

- per l'umidità relativa consigliata i diversi autori non sono sempre in grande accordo; nella Tabella 2.10 si riportano, per i diversi materiali/oggetti, il massimo limite superiore suggerito, il minimo limite inferiore suggerito, il valore medio dei limiti superiori ed inferiore;

Tabella 2.9.1 - Variabili termoigrometriche ottimali per armature in ferro ed armi.

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	<40			
UNI, 1999	<50			
AAM ^a	<30			
Bachmann ^a	<45			
British Museum ^a	50-55 ^b			
British Museum ^a	50-55 ^c			
Cavallini, Massa ^a	40-45			
Cocitto ^a	<60			
De Guichen ^a	0-45			
Gambalunga ^a	0-45			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	<30			
ICCROM ^a	<45			
Musée de France ^a	50-65		20	
ROM ^a	35-50	± 6	21-23,5	
Staniforth ^a	40-45	± 5		
Stolow ^a	20-60			
Thomson ^a	40-45			
U.K. Institute for Conservation ^a	50-55		15-25 ^d	

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b Nel caso di presenza contemporanea di materiali organici
^c Anche se il valore ideale sarebbe il 40%
^d Si consiglia di rendere minime le variazioni diurne

- per i valori di temperatura dell'aria consigliati c'è maggiore uniformità di pareri; in Tabella 2.11 si riporta l'analisi analoga a quella effettuata per l'umidità relativa; nel caso della temperatura, comunque i valori medi hanno scarso significato, a causa del numero limitato di suggerimenti e della presenza di un unico valore consigliato e non di un intervallo;
- i valori più frequenti per la $\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ sono ±5 e ±6; solo per alcuni autori e per alcune categorie si hanno i valori riportati nella Tabella 2.12;

- i valori più frequenti per il Δt_{\max} sono $\pm 1,5$ e ± 5 .

In conclusione, va evidenziato che da molti anni un gran numero di ricercatori si occupa del monitoraggio di edifici storici e museali, ma il problema di come analizzare i dati raccolti è da sempre oggetto di discussioni. La questione più dibattuta è quella di definire i cosiddetti “valori ottimali” delle condizioni ambientali che dovrebbero essere garantite negli ambienti dedicati alla conservazione delle opere d’arte: ogni esperto conservatore ha le sue esperienze, le sue convinzioni e non sempre i pareri concordano. Il risultato è che in letteratura si trovano decine di “tabelle” che consigliano valori ottimali spesso anche molto diversi tra loro e non esistono criteri oggettivi per stabilire quali sono i più corretti. (Citterio e Fagnoli, 1997).

Tabella 2.9.2 - Variabili termoigrometriche ottimali per avori ed ossa

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\max}$ (%)	t (°C)	Δt_{\max} (°C)
M.BB.CC., 2001	45-65		19-24	
UNI, 1999	40-60	± 6	19-24	$\pm 1,5$
AAM ^a	45-60			
U.K. Institute for conservation ^a	45-65		10-25	± 5
Bachmann ^a	55-65			
Cocitto ^a	45-65			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
ICC/CCI ^a	45-55		<25	
ICCROM ^a	50-65			
Musée de France ^a	45-55	± 5	20	
ROM ^a	35-50	± 6	21-23,5	
Staniforth ^a	40-45	± 5		
Stolow ^a	20-60			
Thomson ^a	40-45			

^a Da (Aghemo et al., 1997)

Tabella 2.9.3 - Variabili termoigrometriche ottimali per il bronzo

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	<55			
UNI, 1999	<50			
AAM ^a	<30			
U.K. Institute for conservation ^a	50-55		15-25 ^b	
Bachmann ^a	<45			
British Museum ^a	50-55 ^c			
Cavallini, Massa ^a	40-45			
Cocchitto ^a	<60			
De Guichen ^a	0-45			
Gambalunga ^a	0-45			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	<30			
Hill ^a	50-55			
ICCROM ^a	<45			
Musée de France ^a	50-65		20	
Staniforth ^a	40-45	± 5		
Stolow ^a	20-40 ^d			
Thomson ^a	40-45			
Turner ^a	35-45	± 5		
^a Da (Aghemo et al., 1997)				
^b Minime variazioni diurne				
^c Nel caso di presenza contemporanea di materiali organici				
^d Monete				

Tabella 2.9.4 - Variabili termoigrometriche ottimali per la carta e la cartapesta

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60		19-24	
UNI, 1999	40-55	±6	18-22	±1,5
AAM ^a	45-60 ^b			
AAM ^a	40-50 ^c	±5		
AAM ^a	50-60 ^d	±5		
ASHRAE ^a	40-50	±5	21-22	
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	35-50	±6	19-24	
Cavallini, Massa ^a	45-50			

(continua)

Tabella 2.9.4 - Variabili termoigrometriche ottimali per la carta e la cartapesta

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
Coccitto ^a	45-60 ^e			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60 ^f			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	40-50 ^g	±5		
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	50-60 ^h	±5		
ICC/CCI ^a	45-55	±5	15-20 ⁱ 20-25 ^l	
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	45-60 ^m			
IFROA ^a	50-60 ⁿ	±5		
Musée de France ^a	<60		20	
ROM ^a	45-55	±6	21-23,5	
Stolow ^a	40-50			
Thomson ^a	45-50			

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b 45% sarebbe il valore ideale
^c 45% è un valore critico per la “carta tesa”
^d 55% costante per le veline
^e 45-60% per carta montata su telaio
^f % ideale
^g Carta tesa
^h Veline
ⁱ Condizioni invernali
^l Condizioni estive
^m 1 Carta tesa
ⁿ Veline

Tabella 2.9.5 - Variabili termoigrometriche ottimali per collezioni anatomiche (animali, organi anatomici essiccati, mummie)

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-60		19-24	
UNI, 1999	20-35	±6	21-23	±1,5
ICC/CCI ^a	45-55		<25	
ROM ^a	20-35 ^b		21-23,5	
ROM ^a	25-35 ^c	±5	4	±1

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b Per le mummie
^c Per reperti di animali, animali conservati, collezioni di mammiferi

Tabella 2.9.6 - Variabili termoigrometriche ottimali per collezioni mineralogiche, marmi e pietre

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	45-60		≤30	
UNI, 1999	20-60	± 10	15-25	
Bachmann ^a	<45			
Cavallini, Massa ^a	40-45		20-23	
Coccitto ^a	20-40 ^b			
De Guichen ^a	0-45			
Gambalunga ^a	0-45			
ICCROM ^a	0-45			
ROM ^a	25-50	± 10	21-23,5	
Stolow ^a	20-60			
Thomson ^a	65-70 ^c		10-25	
^a Da (Aghemo et al., 1997)				
^b Materiali archeologici non igroscopici-materiali inerti				
^c Materiali archeologici non igroscopici				

Tabella 2.9.7 - Variabili termoigrometriche ottimali per cuoio, pelli e pergamena

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60			
UNI, 1999	45-60 ^b	± 6	19-24	± 5
AAM ^a	45-60			
Baumont-Laurie ^a	35-50 ^c	± 6	19-24	
Cavallini, Massa ^a	50-65			
Coccitto ^a	45-60 ^d			
De Guichen ^a	50-65 ^e			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
Hill ^a	50-60 ^f	± 5	18	
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	45-60			
Johnson-Horgan ^a	45-60 ^g			
Musée de France ^a	45-55	± 5	18-20	
ROM ^a	35-50 ^h	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	50-60			
Thomson ^a	55-65	± 5		
^a Da (Aghemo et al., 1997)				
^b 45-55% per legature di libri con pelle e pergamena				
^c Pelle, indumenti in pelle				
^d Indumenti in pelle				
^e Pelle				
^f Pelle, oggetti ed indumenti in pelle				
^g Cuoio, indumenti in cuoio				
^h Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati				

Tabella 2.9.8 - Variabili termoigrometriche ottimali per dischi fonografici

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-60		10-21	
UNI, 1999	40-55	± 2	45-60	
BSI ^a	40-45		10-21	

^a Da (Aghemo et al., 1997)

Tabella 2.9.9 - Variabili termoigrometriche ottimali per nastri magnetici

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-60		10-21	
UNI, 1999	40-60 ^b		5-15	
BSI ^a	40-60 ^c		4-16	

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b Esclusi nastri per computer e video tape
^c Esclusi nastri per computer e video tape

Tabella 2.9.10 - Variabili termoigrometriche ottimali per erbari e collezioni botaniche

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-60			
UNI, 1999	45-55	± 2	21-23	± 1,5
Baumont-Laurie ^a	35-50 ^b	± 6	19-24	
Cocitto ^a	45-60 ^c			
Gambalunga ^a	50-65 ^d			
Hill ^a	50-60 ^e	±5	18	
Johnson-Horgan ^a	40-60			
ROM ^a	35-50 ^f	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	40-60		20	
Thomson ^a	45-50			

^a Da (Aghemo et al., 1997) ^d Materiali naturalistici: vegetali
^b Per erba e paglia ^e Per erba e paglia
^c Materiali naturalistici: vegetali ^f 35%, 50% sono i valori estivi ed invernali consigliati per erba e paglia

Tabella 2.9.11 - Variabili termoigrometriche ottimali per film e fotografie a colori

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	30-50		-5-+15 ^b	
UNI, 1999	30-45		0-15	
De Guichen ^a	<30 ^c		-5	
ICCROM ^a	25-35 ^d	±5	5	
Lindgren ^a	10-20	±5	4	
Thomson ^a	20-30 ^e		5 ^f	
^a Da (Aghemo et al., 1997)		^d Film a colori		
^b Dipende dalla sensibilità delle pellicole		^e Consiglia un valore tra 15-30% per gli acetati e da 25-30% se in poliestere		
^c Film a colori		^f Consiglia un valore tra +2 e +5		

Tabella 2.9.12 - Variabili termoigrometriche ottimali per film e fotografie in b/n

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	20-30		2-20 ^b	
UNI, 1999	30-45		0-15	
AAM ^a	30-45			
BSI ^a	40-60 ^c		10-15,5	
BSI ^a	40-50 ^d		10-16	
BSI ^a	30-50 ^e		10-16	
Cavallini, Massa ^a	40-60		19	
Cocitto ^a	30-45			
De Guichen ^a	40-60 ^f		2-6	
De Guichen ^a	<60 ^g		12	
Gambalunga ^a	40-60 ^h		2-6	
Gambalunga ^a	<30 ⁱ		-5	
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	30-45			
Hill ^a	40-45 ^l		21	
Hill ^a	40-50 ^m		16-17	
ICCROM ^a	<50 ⁿ		4	+2
ICCROM ^a	<60 ^o		<12	
IFROA ^a	30-45			
Johnson-Horgan ^a	30-45			
Stolow ^a	30-45		20	
Thomson ^a	<50 ^p		4	
Thomson ^a	35-40 ^q		10-12	

(continua)

Tabella 2.9.12 - (segue)

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(UR)_{max}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
Thomson ^a	<60 ^f			
^a Da (Aghemo et al., 1997) ^b L'intervallo è valido per fotografie con supporti in carta, materiale plastico, vetro. Invece per supporti a base di nitrato e per vetri con emulsione al collodio sono consigliate temperature più basse ^c Film ^d Fotografie ^e Film su acetato di cellulosa o altre basi più recenti e "sicure" ^f Film con base di nitrati ^g Film su acetato-poliestere o video ^h Film con base di nitrati ⁱ Film su acetato-poliestere o video ^l Film al nitrato ^m Fotografie ⁿ Film al nitrato ^o Film all'acetato, al poliestere banda video ^p Materiale fotografico e cinematografico con base di nitrati ^q Materiale fotografico e cinematografico con base di acetati ^r Materiale fotografico e cinematografico con substrato di gelatina				

Tabella 2.9.13 - Variabili termoigrometriche ottimali per insetti e scatole entomologiche

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(UR)_{max}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-60		19-24	
UNI, 1999	40-60	±6	19-24	±1,5
Cocchitto ^a	40-60 ^b			
Gambalunga ^a	50-65 ^c			
Johnson-Horgan ^a	40-60			
Stolow ^a	40-60		20	
Thomson ^a	50-60	±5	15-18	
^a Da (Aghemo et al., 1997) ^b Materiali naturalistici: insetti ^c Materiali naturalistici: insetti				

Tabella 2.9.14 - Variabili termoigrometriche ottimali per lacche orientali

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(UR)_{max}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60		19-24	
UNI, 1999	50-60	±4	19-24	±1,5
Baumont-Laurie ^a	35-50 ^b	±6	19-24	
Baumont-Laurie ^a	45-55 ^c	±2	19-24	
Cavallini, Massa ^a	50-65			
Johnson-Horgan ^a	50-60			
ROM ^a	45-55	± 2	21-23,5	
Stolow ^a	50-60		20	
Thomson ^a	50-60	± 5		
^a Da (Aghemo et al., 1997) ^b Mobili in legno, cineserie, lacca rossa ^c Lacche giapponesi e coreane, mobili intarsiati o laccati				

Tabella 2.9.15 - Variabili termoigrometriche ottimali per il legno

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-65		19-24	
UNI, 1999	45-60	±4	19-24	±1,5
AAM ^a	45-60			
Bachmann ^a	55-60			
Baumont-Laurie ^a	45-55 ^b	±2	19-24	
Cavallini, Massa ^a	40-45			
Cocitto ^a	40-65			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
Hill ^a	50-60	±5	18	
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	45-60			
Johnson-Horgan ^a	45-60			
Musée de France ^a	50-60		20	
ROM ^a	35-50 ^c	±6	21-23,5	
Stolow ^a	40-60		20	
Thomson ^a	50-60	±5		
Thomson ^a	50-60 ^d		15-25	±5
^a Da (Aghemo et al., 1997)		^c Valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati		
^b Sculture in legno rivestite di gesso		^d Materiali archeologici più sensibili		

Tabella 2.9.16 - Variabili termoigrometriche ottimali per il legno dipinto e sculture policrome

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	45-65		19-24	
UNI, 1999	50-60	±4	19-24	±1,5
AAM ^a	45-60			
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	45-55 ^b	±2	19-24	
Baumont-Laurie ^a	35-50 ^c	±6	19-24	
Cavallini, Massa ^a	50-65			
Cocitto ^a	45-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	45-60			

(continua)

Tabella 2.9.16 - (segue)

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
Johnson-Horgan ^a	45-60			
Musée de France ^a	45-55	±5	20	
ROM ^a	35-50 ^d	±6	21-23,5	
ROM ^a	45-55 ^e	±6	21-23,5	
ROM ^a	35-50 ^f	±2	21-23,5	
Stolow ^a	45-60		20	
Thomson ^a	50-60	±5		
^a Da (Aghemo et al., 1997) ^b Pannelli in legno dipinto, strumenti musicali ^c Oggetti policromi in legno ^d Valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati ^e Pannelli in legno dipinto ^f Strumenti musicali				

Tabella 2.9.17 - Variabili termoigrometriche ottimali per libri e manoscritti

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60		19-24	
UNI, 1999	50-60	±5	13-18	±1,5
AAM ^a	50-60	±5		
ASHRAE ^a	30-40	±5	12,8-18,3	
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	35-50	±6	19-24	
Cavallini, Massa ^a	45-50			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	50-60	±5		
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	50-60	±5		
Musée de France ^a	<60		20	
ROM ^a	35-50 ^b	±6	21-23,5	
Stolow ^a	55-60		20	
Thomson ^a	55-60		13-18	
^a Da (Aghemo et al., 1997) ^b Valori invernale minimo ed estivo massimo				

Tabella 2.9.18 - Variabili termoigrometriche ottimali per materiale etnografico

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-60		19-24	
UNI, 1999	45-60	±6	19-24	±1,5
AAM ^a	45-60			
British Museum ^a	50-60 ^b	± 5		
Cavallini, Massa ^a	50-65			
Cocchitto ^a	45-60 ^c			
Cocchitto ^a	40-60			
De Guichen ^a	50-65 ^d			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
Hill ^a	50-60 ^e	± 5	18	
ICC/CCI ^a	45-55		25	
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	45-60			
Johnson-Horgan ^a	40-60			
Musée de France ^a	45-55	± 5	18-20	
ROM ^a	35-50 ^f	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	40-60		20	
Thomson ^a	55-65	± 5		
^a Da (Aghemo et al., 1997)				
^b Pelle, indumenti ed oggetti in pelle				
^c Pelle				
^d Pelle				
^e Pelle, indumenti ed oggetti in pelle				
^f Valori invernale minimo ed estivo massimo per pelle, indumenti ed oggetti in pelle				

Tabella 2.9.19 - Variabili termoigrometriche ottimali per materie plastiche

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	30-50			
UNI, 1999	30-50		19-24	
Stolow ^a	30-50			
^a Da (Aghemo et al., 1997)				

Tabella 2.9.20 - Variabili termoigrometriche ottimali per metalli e leghe levigati, ottone, argento, peltro, piombo e rame

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	<45			
UNI, 1999 ^b	<50			
AAM ^a	<30			
Bachmann ^a	<45			
Baumont-Laurie ^a	<45 ^c			
British Museum ^a	50-55 ^d			
Cavallini, Massa ^a	40-45			
Cocchitto ^a	<60			
De Guichen ^a	0-45			
Gambalunga ^a	0-45			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	<30			
Hill ^a	50-55 ^e			
Hill ^a	35-45	± 5		
ICCROM ^a	0-45			
IFROA ^a	<30			
Johnson-Horgan ^a	<30			
Musée de France ^a	50-65		20	
ROM ^a	25-50 ^f	± 10	21-23,5	
ROM ^a	20-35 ^g		21-23,5	
Stolow ^a	15-40 ^h			
Stolow ^a	20-40 ⁱ			
Stolow ^a	20-40 ^l			
Thomson ^a	40-45			
U.K. Institute for Conservation ^a	50-55		15-25 ^m	

^a Da (Aghemo et al., 1997)

^b Nel caso di oggetti costituiti da parti metalliche diverse tra loro saldate, oscillazioni di temperatura possono produrre effetti dannosi

^c Preferibilmente minore del 20% (valori consigliati per argento ed ottone)

^d Il valore ideale sarebbe il 40%, (valori consigliati per ferro ed acciaio)

^e Per argento e bronzo

^f Per l'argento

^g Per acciaio, ferro e piombo

^h Per l'ottone

ⁱ Monete

^l Monete

^m Preferibilmente rendere minime le variazioni diurne

Tabella 2.9.21 - Variabili termoigrometriche ottimali per mobili con intarsi e lacche

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60		19-24	
UNI, 1999	50-60	±4	19-24	±1,5
Baumont-Laurie ^a	45-55 ^b	±2	19-24	
Cavallini, Massa ^a	50-65			
Johnson-Horgan ^a	45-60			
ROM ^a	35-50 ^c	±6	21-23,5	
Stolow ^a	40-60		20	
Thomson ^a	50-60	± 5		

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b Per lacche giapponesi e coreane e mobili intarsiati o lacche
^c Valori invernale minimo ed estivo massimo

Tabella 2.9.22 - Variabili termoigrometriche ottimali per mosaici

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	45-60		6-25 ^b	±1,5
UNI, 1999	20-60	±10	15-25	
Cavallini, Massa ^a	40-45		20-23	
De Guichen ^a	0-45			
Gambalunga ^a	0-45			

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo

Tabella 2.9.23 - Variabili termoigrometriche ottimali per l'oro

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	<45			
UNI, 1999	NR ^b		NR ^b	
Baumont-Laurie ^a	<45 ^c		t _a ^d	
Hill ^a	50-55			
ROM ^a	25-50 ^e	± 10	21-23,5	

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b NR = Non Rilevante
^c Preferibilmente < del 20%
^d Temperatura ambiente
^e Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati

Tabella 2.9.24 - Variabili termoigrometriche ottimali per pitture murali

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	45-60		6-25 ^b	±1,5
UNI, 1999 ^c	45-50		10-24	
UNI, 1999	55-65		10-24	
Kadijsky ^a	50-55 ^d		6-8 ^e 20-25 ^f	±1,5 ^g

^a Da (Aghemo et al., 1997) ^e Condizioni invernali
^b Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo ^f Condizioni estive
^c Per pittura murale a secco (staccate) ^g All'ora
^d Sono i valori consigliati per pittura murale, affreschi, sinopie (staccate)

Tabella 2.9.25 - Variabili termoigrometriche ottimali per i papiri

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	35-50		19-24	
UNI, 1999	50-60	±5	13-18	
AAM ^a	45-60 ^b			
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	35-50	±6	19-24	
Cavallini, Massa ^a	45-50			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60 ^c			
ICC/CCI ^a	45-55	±5	15-20 ^d 20-25 ^e	
ICCROM ^a	50-65			
Johnson-Horgan ^a	45-60 ^f			
Musée de France ^a	<60		20	
ROM ^a	35-50 ^g	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	40-50		20	
Thomson ^a	45-50			

^a Da (Aghemo et al., 1997) ^e Condizioni estive
^b 45% sarebbe il valore ideale ^f 45% ideale
^c 45% ideale ^g Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati
^d Condizioni invernali

Tabella 2.9.26 - Variabili termoigrometriche ottimali per acquerelli, disegni, pastelli

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60		19-24	
UNI, 1999	45-60	±2	19-24	±1,5
Musée de France ^a	<60		20	
Thomson ^a	50-60			

^a Da (Aghemo et al., 1997)**Tabella 2.9.27** - Variabili termoigrometriche ottimali per stampe

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60		19-24	
UNI, 1999	45-60	±2	19-24	±1,5
AAM ^a	45-60 ^b			
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	35-50	±6	19-24	
Cavallini, Massa ^a	45-50			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60 ^c			
ICC/CCI ^a	45-55	±5	15-20 ^d 20-25 ^e	
ICCROM ^a	50-65			
Johnson-Horgan ^a	45-60 ^f			
Musée de France ^a	<60		20	
ROM ^a	45-55	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	40-50		20	
Thomson ^a	50-60			
Thomson ^a	45-50			

^a Da (Aghemo et al., 1997)^b 45% sarebbe il valore ideale^c 45% ideale^d Condizioni invernali^e Condizioni estive^f 45% ideale

Tabella 2.9.28 - Variabili termoigrometriche ottimali per pellicce, piume

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	45-60		15-21	
UNI, 1999	30-50	±5	4-10	±1,5
ASHRAE ^a	45-55 ^b	±5	4,5-10	
British Museum ^a	55-60 ^b		15,5-21	
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
Johnson-Horgan ^a	45-60			
ICC/CCI ^a	45-55		<25	
ROM ^a	25-35	±5	4	±1
Stolow ^a	40-60		20	

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b Pelo

Tabella 2.9.29 - Variabili termoigrometriche ottimali per pitture su tela

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	35-60		19-24	
UNI, 1999	40-55	±6	19-24	±1,5
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	35-50	±6	19-24	
Brawne ^a	48-58	±7	20	±2
Caneva-Nugari-Salvadori ^a	55-65		16-18	
Coccitto ^a	45-60			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
ICC/CCI ^a	47-53 ^b	±2		
ICCROM ^a	50-65			
Johnson-Horgan ^a	45-60 ^c			
Massa-Caneva ^a	55-65		16-18	
ROM ^a	35-50 ^d	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	40-55		20	
Thomson ^a	50-60 ^e	±10	20	
Thomson ^a	50-60	± 5		

^a Da (Aghemo et al., 1997)
^b Più realistico 58% in estate e 38% in inverno
^c 45% ideale
^d Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati
^e Pitture da cavalletto

Tabella 2.9.30 - Variabili termoigrometriche ottimali per porcellane, ceramiche, grès, terracotta

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(UR)_{max}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	20-60 ^b			
UNI, 1999	NR ^c	±10	NR ^c	NR ^c
Bachmann ^a	<45			
De Guichen ^a	0-45			
Gambalunga ^a	0-45			
ICCROM ^a	0-45			
ROM ^a	25-50 ^d	± 10	21-23,5	
Stolow ^a	20-60 ^e		20	
Thomson ^a	50-60 ^f	±10	20	
Thomson ^a	50-65		18-20	
U.K. Institute for Conservation ^a	40-70 ^g		4-30 ^g	

^a Da (Aghemo et al., 1997) ^d Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati
^b Per particolari manufatti ceramici cotti a temperatura piuttosto bassa il valore dell'UR deve essere <45% ^e Terraglie cotte a bassa temperatura
^c NR = Non Rilevante ^f Pitture da cavalletto
^g Standard minimo

Tabella 2.9.31 - Variabili termoigrometriche ottimali per la seta

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(UR)_{max}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	50-60			
UNI, 1999	30-50	±6	19-24	±1,5
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	35-50	±6	19-24	
British Museum ^a	55-60			
Cavallini, Massa ^a	45-50		2-19	
Coccitto ^a	40-60			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
Hill ^a	50-60	±5	18	
ICC/CCI ^a	45-55	±5	15-20 ^b 20-25 ^c	
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	45-60			
Johnson-Horgan ^a	45-60			
Musée de France ^a	45-55	±5	20	
ROM ^a	35-50 ^d	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	40-60			

(continua)

Tabella 2.9.31 - (segue)

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
Thomson ^a	45-50			
^a Da (Aghemo et al., 1997)		^c Condizioni estive		
^b Condizioni invernali		^d Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati		

Tabella 2.9.32 - Variabili termoigrometriche ottimali per tessuti, tappeti, arazzi, tappezzeria in stoffa

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	40-60			
UNI, 1999	30-50	±6	19-24	±1,5
AAM ^a	45-60 ^b			
Bachmann ^a	55-65			
Baumont-Laurie ^a	35-50	±6	19-24	
British Museum ^a	55-60			
Cavallini, Massa ^a	45-50		2-19	
Cocitto ^a	40-60			
De Guichen ^a	50-65			
Gambalunga ^a	50-65			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
Hill ^a	50-60	± 5	18	
ICC/CCI ^a	45-55	± 5	15-20 ^c 20-25 ^d	
ICCROM ^a	50-65			
IFROA ^a	45-60			
Johnson-Horgan ^a	45-60			
Musée de France ^a	45-55	± 5	20	
ROM ^a	35-50 ^e	± 6	21-23,5	
Stolow ^a	35-50 ^f			
Stolow ^a	40-60			
Thomson ^a	45-50			
^a Da (Aghemo et al., 1997)		^d Condizioni estive		
^b Per fibre naturali, sisal e juta		^e Sono i valori invernale minimo ed estivo massimo consigliati		
^c Condizioni invernali		^f Per costumi, abiti, paramenti religiosi, tappeti, tappezzerie in stoffa, arazzi		

Tabella 2.9.33 - Variabili termoigrometriche ottimali per vetri e vetrate stabili

Riferimento bibliografico	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
M.BB.CC., 2001	25-60			
AAM ^a	45-60			
Bachmann ^a	<45			
Cavallini, Massa ^a	50-55			
De Guichen ^a	42-45			
Haiad, Druzik, Ayres, Lau ^a	45-60			
Hill ^a	50-55	± 2	18	
ICCROM ^a	<45			
IFROA ^a	45-60			
ROM ^a	25-50	± 10	21-23,5	
Stolow ^a	40-50			
Stolow ^a	40-60		20	
Thomson ^a	45-50			

^a Da (Aghemo et al., 1997)

Tabella 2.10 - Analisi dei valori di umidità relativa consigliata; in seconda colonna il numero di fonti di suggerimenti, N.

Classe	UR(%)				
	N	(UR) _{sup,max}	(UR) _{sup,med}	(UR) _{inf,min}	(UR) _{inf,med}
Armature in ferro, armi	18	65	48	0	21
Avori, ossa	16	65	59	20	43
Bronzo	18	60	48	0	21
Carta, cartapesta	23	65	57	0	43
Collezioni anatomiche (animali, organi anatomici essiccati, mummie)	5	55	44	20	30
Collezioni mineralogiche, marmi e pietre	11	70	51	0	21
Cuoio, pelli e pergamena	17	65	60	35	46
Dischi fonografici	3	60	53	40	40
Nastri magnetici	3	60	60	40	40
Erbari e collezioni botaniche	10	65	57	35	43
Film e foto a colori	6	50	35	0	19

(continua)

Tabella 2.10 - (segue)

Classe	UR(%)				
	N	(UR) _{sup,max}	(UR) _{sup,med}	(UR) _{inf,min}	(UR) _{inf,med}
Film e foto in bianco e nero	23	60	49	0	25
Insetti e scatole entomologiche	7	65	61	40	43
Lacche orientali	9	65	58	35	42
Legno	19	65	60	35	46
Legno dipinto, sculture policrome	19	65	59	35	45
Libri, manoscritti	16	65	58	0	44
Materiale etnografico	17	65	60	35	46
Materie plastiche	3	50	59	30	30
Metalli e leghe levigati, ottone, argento, peltro, piombo, rame	24	65	45	0	17
Mobili con intarsi e lacche	8	65	46	35	46
Mosaici	5	60	59	0	21
Oro	4	55	51	0	19
Pitture murali	4	65	49	45	49
Papiri	16	65	58	0	42
Pastelli acquerelli, disegni	4	60	57	0	48
Stampe	17	65	60	0	44
Pellicce e piume	9	60	58	25	42
Pitture su tela	17	65	59	35	46
Porcellane, ceramiche, grès e terracotta	10	70	55	0	21
Seta	19	65	58	30	45
Tessuti, tappeti, arazzi, tappezzeria in stoffa	21	65	58	35	44
Vetri e vetrate stabili	13	60	53	0	34

Tabella 2.11 - Analisi dei valori di temperatura consigliata; in seconda colonna il numero di fonti di suggerimenti, N.

Classe	t (°C)		
	N	(t) _{sup,max}	(t) _{inf,min}
Armature in ferro, armi	3	25	15
Avori, ossa	6	25	0
Bronzo	2	25	15
Carta, cartapesta	7	25	15
Collezioni anatomiche (animali, organi anatomici essiccati, mummie)	5	25	0
Collezioni mineralogiche, marmi e pietre	5	30	10
Cuoio, pelli e pergamena	5	24	18
Dischi fonografici	3	60	10
Nastri magnetici	3	21	4
Erbari e collezioni botaniche	5	24	18
Film e foto a colori	6	15	-5
Film e foto in bianco e nero	17	20	-5
Insetti e scatole entomologiche	4	24	15
Lacche orientali	6	24	19
Legno	8	25	15
Legno dipinto, sculture policrome	9	24	19
Libri, manoscritti	8	24	12,8
Materiale etnografico	7	24	18
Materie plastiche	1	24	19
Metalli e leghe levigati, ottone, argento, peltro, piombo, rame	4	25	20
Mobili con intarsi e lacche	5	24	19
Mosaici	3	25	6
Oro	1	23,5	21
Pitture murali	4	25	6
Papiri	7	25	21
Pastelli acquerelli, disegni	3	24	6

(continua)

Tabella 2.11 - (segue)

Classe	t (°C)		
	N	(t) _{sup,max}	(t) _{inf,min}
Stampe	8	25	19
Pellicce e piume	7	25	15
Pitture su tela	9	24	0
Porcellane, ceramiche, grès e terracotta	5	30	16
Seta	7	25	2
Tessuti, tappeti, arazzi, tappezzeria in stoffa	7	25	2
Vetri e vetrate stabili	3	23,5	18

Tabella 2.12 - Valori di $\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$, indicati da autori vari, diversi da ± 5 e ± 6 ,

Classe	Autore	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$
Collezioni mineralogiche, marmi e pietre	UNI, 1999 ROM	± 10
Dischi fonografici	UNI, 1999	± 2
Erbari e collezioni botaniche	UNI, 1999	± 2
Lacche orientali	UNI, 1999 Baumont-Laurie ROM	± 4 ± 2 ± 2
Legno	UNI, 1999 Baumont-Laurie	± 4 ± 2
Legno dipinto, sculture policrome	UNI, 1999 Baumont-Laurie ROM	± 4 ± 2 ± 2
Metalli e leghe levigati, ottone, argento, peltro, piombo, rame	ROM	± 10
Mobili con intarsi e lacche	UNI, 1999 Baumont-Laurie	± 4 ± 2
Mosaici	UNI, 1999	± 10
Oro	ROM	± 10
Pastelli acquerelli, disegni	UNI, 1999	± 2
Stampe	UNI, 1999	± 2

(continua)

Tabella 2.12 - Valori di $\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$, indicati da autori vari, diversi da ± 5 e ± 6 ,

Classe	Autore	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$
Pellicce e piume		
Pitture su tela	ICC/CCI	± 2
	Thomson	± 10
Porcellane, ceramiche, grès e terracotta	UNI, 1999	± 10
	ROM	± 10
	Thomson	± 10
Vetri e vetrate stabili	Hill	± 2
	ROM	± 10

2.5.2 Le condizioni microclimatiche per la prevenzione di attacchi microbiologici

Le condizioni termoigrometriche di benessere chimico-fisico dei materiali non sempre coincidono con quelle consigliate per la prevenzione di attacchi microbiologici, per cui il curatore della struttura museale dovrà di volta in volta operare la scelta più opportuna e, in particolari condizioni, dovrà ricorrere all'uso di vetrine in modo da realizzare nello stesso ambiente differenti condizioni di conservazione (M.BB.CC., 2001). In Tabella 2.13 sono riportati i valori consigliati indicati nel Decreto del Ministro per i Beni e le Attività culturali del 10 maggio 2001 (M.BB.CC., 2001).

Per quanto riguarda invece gli attacchi entomatici, dovuti ad insetti, risultano del tutto insufficienti interventi sui parametri microclimatici, a meno che non si raggiungano valori di temperatura ed umidità relativa incompatibili con il benessere sia della maggior parte dei materiali che dell'uomo.

Tabella 2.13 - Variabili termoigrometriche ottimali per per la prevenzione di attacchi microbiologici (M.BB.CC., 2001)

Manufatti organici	UR (%)	$\Delta(\text{UR})_{\text{max}}$ (%)	t (°C)	Δt_{max} (°C)
Dipinti su tela	40-55	±6	19-24	±1,5
Dipinti su tavola	50-60	±2	19-24	±1,5
Legno	50-60	±2	19-24	±1,5
Legno archeologico	50-60	±2	19-24	±1,5
Legno bagnato			<4	
Carta	40-55	±6	18-22	±1,5
Pastelli, acquerelli	<65		<10	
Libri e manoscritti	45-55	±5	<21	±3
Materiale grafico	45-55	±5	<21	±3
Cuoio, pelli e pergamene	40-55	±5	4-10	±1,5
Tessuti di natura cellulosica	30-50	±6	19-24	±1,5
Tessuti di natura proteica	>50-55		19-24	±1,5
Collezioni etnografiche	20-35	±5	15-23	±2
Materiali stabili	35-65		-30	

2.5.3 Valori termoigrometrici critici per la conservazione di alcuni manufatti

Esistono alcune categorie di manufatti che richiedono condizioni termoigrometriche di conservazione particolarmente controllate. I valori indicati in Tabella 2.14 vanno intesi come valori di riferimento tassativi, secondo quanto indicato nel Decreto del Ministro per i Beni e le Attività culturali del 10 maggio 2001 (M.BB.CC., 2001). Tra l'altro, il Decreto precisa che all'interno degli intervalli indicati le variazioni giornaliere devono essere ridotte al minimo, fermo restando che le variazioni stagionali devono comunque essere all'interno degli intervalli prefissati.

Le condizioni indicate potranno essere assicurate con due diverse procedure, secondo il tipo di manufatto, conservando l'oggetto:

- in un contenitore in presenza di un assorbitore di umidità (bronzi, ferri, vetri);
- in ambienti o contenitori nei quali possa essere assicurato il controllo e la stabilità di tutti i parametri ambientali (legno bagnato, miniature, codici miniati).

Tabella 2.14 - Variabili termoigrometriche critiche per la conservazione di alcuni manufatti (M.BB.CC., 2001)

Manufatti	UR (%)	t (°C)
Bronzi archeologici con corrosione da cloruri	<42	
Ferri archeologici con corrosione da cloruri	<20	
Vetri instabili	40-45	
Legno bagnato	100	<4

2.6 MONITORAGGIO AMBIENTALE: PROPOSTA DI UN PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE

È ormai chiaro che il rischio di degrado delle collezioni d'arte è direttamente connesso alle non adeguate condizioni microclimatiche interne dell'edificio-contenitore, che dipendono da più fattori, essenzialmente la temperatura e l'umidità relativa dell'aria e l'inquinamento indoor. D'altra parte, va considerato che la realizzazione di condizioni di accettabilità per la conservazione è limitata a tutt'oggi da non idonei strumenti e strategie.

In un'ottica di Conservazione Preventiva delle raccolte, data l'estrema complessità del controllo microclimatico negli ambienti museali, in special modo quello della qualità dell'aria, occorre dotare gli operatori di protocolli operativi che risultino relativamente semplici, pur tenendo conto di tutte le va-

riabili di interesse attraverso l'utilizzo del monitoraggio ambientale ed il controllo delle aree in esame.

Quella che viene qui di seguito illustrata è una metodologia che permette da una parte di valutare l'ambiente museale dal punto di vista microclimatico e di quantizzare i fattori che scatenano i processi di degrado dei beni culturali, e dall'altra di pervenire alla scelta di interventi tesi a migliorare lo stato di conservazione. Il metodo di valutazione proposto non vuole essere né esaustivo né definitivo, ma mira semplicemente a costituire un riferimento per i tecnici incaricati delle indagini e per i responsabili della conservazione, che richiedono soprattutto procedure ed interventi "applicabili", specie per realtà museali con risorse economiche o gestionali limitate. D'altra parte, l'adozione di procedure standard in questo campo è ormai una necessità, non solo per semplificare ed uniformare, ma anche per regolarizzare un settore relativamente giovane come quello del monitoraggio ambientale per i beni culturali.

2.7 IL PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE

Il protocollo di valutazione proposto tiene conto dei risultati della misurazione delle grandezze termoigrometriche e delle concentrazioni di micro e macro inquinanti presenti nell'ambiente; inoltre, considerando l'ambiente museale come un sistema complesso, prende in esame anche i diversi componenti che lo costituiscono, tra cui i più importanti sono sicuramente l'ambiente interno, l'involucro edilizio, l'ambiente esterno, i sistemi impiantistici attivi.

Il protocollo si basa su una metodologia di tipo sequenziale: ciascuna delle cinque fasi di cui consta contribuisce a definire lo stato della qualità dell'aria negli ambienti di conservazione e, quindi, lo stato di conservazione e il livello di rischio cui gli oggetti sono esposti. I rilievi effettuati nelle cinque

fasi permettono di stimare l'entità degli scostamenti delle condizioni reali di conservazione da quelle ottimali e, conseguentemente, di pianificare gli interventi per minimizzare lo stato di degrado.

Per poter rendere il protocollo di facile utilizzo, in ciascuna fase è prevista la compilazione di check list che facilitano il compito sia di coloro che effettuano le rilevazioni sia di coloro che di tali rilevazioni devono analizzare i risultati. Uno schema riepilogativo per l'applicazione del protocollo è in Figura 2.2.

2.7.1 La Fase I: Acquisizione delle informazioni relative all'ambiente museale

Le conoscenze raggiunte dalla comunità scientifica sull'influenza degli agenti aggressivi esterni sui processi di degrado nei beni culturali ha spinto gli organi preposti alla conservazione a sviluppare misure preventive/protettive, quali la minimizzazione delle infiltrazioni di aria esterna nell'edificio o la creazione di zone dell'edificio in sovrappressione, grazie all'utilizzo di un impianto di climatizzazione. Questo approccio, però, comporta un problema spesso trascurato: infatti, normalmente, l'impianto di climatizzazione, laddove presente, non funziona con continuità nelle 24 ore, per cui si corre il rischio che gli inquinanti prodotti da sorgenti interne agli ambienti, o provenienti dall'esterno in relazione alla geomorfologia del sito in cui l'edificio è ubicato e alle caratteristiche costruttive dell'edificio stesso, non vengono sufficientemente rimossi. La prima fase prevista dal protocollo, essenzialmente di competenza del termotecnico assistito dal conservatore, prevede proprio l'individuazione, la mappatura e l'acquisizione di quei fattori caratterizzanti "l'ambiente museo" dal punto di vista delle interazioni tra l'involucro edilizio, gli impianti, e le attività svolte nell'edificio.

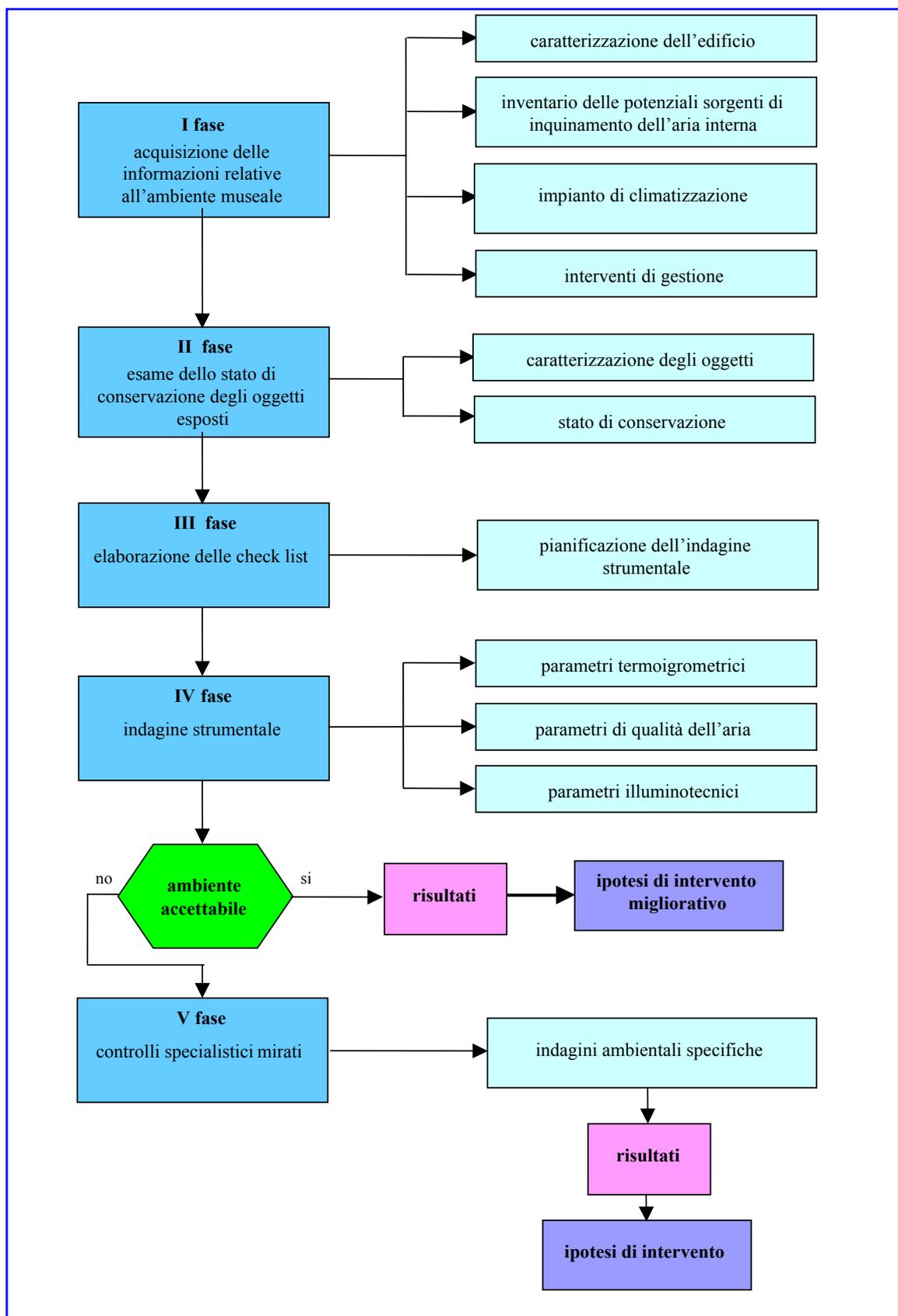


Figura 2.2 - Schema riepilogativo del protocollo proposto.

2.7.1.1 *Caratterizzazione dell'edificio*

Per avere un quadro generale delle dimensioni del problema e per focalizzare gli sforzi su soluzioni tecnologiche che possano migliorare la qualità dell'aria nell'ambiente espositivo, è necessaria la conoscenza dettagliata delle caratteristiche dell'involucro edilizio, in termini di scambi di energia e di massa tra ambiente interno ed esterno, tra i vari locali interni e all'interno dello stesso locale. A questo scopo è necessario disporre almeno delle seguenti informazioni:

- dati sulle caratteristiche di ubicazione del sito museale;
- dati oggettivi relativi agli inquinanti presenti nell'aria esterna;
- planimetrie della struttura e degli ambienti, con indicazione della loro destinazione d'uso;
- informazioni sui materiali utilizzati;
- informazioni su tipologia e caratteristiche di tenuta all'aria degli infissi;
- informazioni sulle caratteristiche tipologiche, costruttive e di regolazione dell'impianto di climatizzazione.

2.7.1.2 *Inventario delle potenziali sorgenti d'inquinamento dell'aria interna*

La procedura di acquisizione relativa alla prima fase procede con l'identificazione e la classificazione delle sorgenti interne di inquinanti, anche in relazione alle variazioni temporali e spaziali del carico inquinante ad esse dovuto. Per far ciò è opportuno realizzare una mappatura delle sorgenti - quali i materiali costituenti l'edificio, gli arredi, gli allestimenti, le apparecchiature presenti e le stesse opere esposte - ed effettuare un severo controllo delle cause di biodeterioramento, costituite essenzialmente da microrganismi dovuti al-

le attività antropiche svolte in ambiente oppure ad altre cause quali la presenza di umidità nelle pareti.

Per un'attenta valutazione dell'inquinamento dovuto alle sorgenti interne è fondamentale valutare i livelli di emissione e l'andamento nel tempo delle concentrazioni delle sostanze inquinanti; ciò si può realizzare per esempio effettuando uno scheduling giornaliero, piuttosto che settimanale o stagionale, di tali parametri, messi in relazione temporale con eventi quali le operazioni di pulizia e manutenzione dei locali, l'afflusso di pubblico e la presenza degli addetti nelle sale.

2.7.1.3 *Impianto di climatizzazione*

Purtroppo le conoscenze sulle condizioni microclimatiche per la conservazione non sempre si traducono in un'adeguata progettazione impiantistica in grado di garantire il mantenimento continuativo dei parametri di conservazione nel range fissato dagli standard; molto spesso, infatti, si cade nell'errore di applicare le conoscenze relative alla climatizzazione civile alle necessità museali, progettando gli impianti come se fossero destinati ad abitazioni o uffici. La mancata integrazione delle competenze professionali coinvolte nel progetto microclimatico delle aree espositive, tipicamente conservatori, architetti e ingegneri, porta spesso ad un risultato scadente, trasformando l'impianto, che dovrebbe garantire l'idoneo stato di conservazione, in una delle cause di degrado.

Per questi motivi, la procedura di indagine relativa alla prima fase continua con l'acquisizione delle caratteristiche costruttive dei singoli componenti dell'impianto, o degli impianti se il trattamento dei carichi avviene in modo distinto; vanno sicuramente presi in considerazione il sistema di umidificazione o deumidificazione, i filtri dell'aria, le batterie di scambio termico, le reti idroniche e le canalizzazioni di distribuzione dell'aria. A seconda del tipo

di impianto di climatizzazione presente nell'edificio (riscaldamento, ventilazione, termoventilazione o condizionamento), l'indagine prosegue estendendosi alle *unità terminali* collocate in ambiente, alle modalità di distribuzione del fluido termovettore, alla portata d'aria esterna impegnata nel processo ed eventualmente quella di ricircolo. In ogni caso, va calcolato il valore dell'efficienza di ventilazione.

Va ricordato, infine, che l'efficienza dell'impianto dipende non solo dalle sue caratteristiche tecniche ma, tenuto conto che anch'esso è inevitabilmente soggetto ad un processo di degrado, si deve periodicamente procedere a mantenere i singoli componenti e l'intero sistema.

2.7.2 La Fase II: Esame dello stato di conservazione degli oggetti esposti

Nella seconda fase si procede ad un accurato esame dello stato di conservazione degli oggetti al fine di individuare, in prima ipotesi, i contaminanti sui quali è necessario focalizzare l'attenzione; questa fase è certamente una delle più delicate e coinvolge direttamente le diverse professionalità presenti nel contesto museale.

2.7.2.1 *Caratterizzazione degli oggetti*

Gli oggetti d'arte subiscono livelli di danno diversi, a parità di ambiente microclimatico, poiché la risposta alle sollecitazioni microclimatiche e agli agenti chimici da parte del singolo oggetto dipende dalle sue caratteristiche in termini di materiali da cui è costituito, dalla sua struttura, dalla sua storia pregressa.

In questa sottofase occorre quindi verificare la natura dell'oggetto sulla base di dati, forniti dagli operatori del settore, relativi alla sua costituzione, al

tipo di esposizione cui è destinato (permanente o temporanea), alla sua collocazione spaziale attuale e pregressa.

E' importante osservare che l'ambiente espositivo, in quanto confinante con l'ambiente esterno o con ambienti a temperatura diversa e dotato eventualmente di terminali dell'impianto di climatizzazione, non è omogeneo dal punto di vista microclimatico, in quanto in esso sono generalmente presenti moti convettivi dell'aria, zone di ristagno, zone a differente concentrazione di inquinanti. Per tale motivo, per una completa caratterizzazione è necessario disporre di informazioni dettagliate anche sulle caratteristiche espositive dell'oggetto all'interno dell'ambiente (a parete, isolato nell'ambiente, in vetrina, in posizione soggetta ad insolazione diretta ecc.).

2.7.2.2 *Stato di conservazione*

Questa sottofase mira alla valutazione dello stato di conservazione degli oggetti. L'indagine è condotta a livello macroscopico basandosi sull'osservazione diretta dell'eventuale presenza a livello superficiale di alterazioni fisiche, chimiche e biologiche, nonché di interventi di restauro, valutandone opportunamente l'entità e la compatibilità con le condizioni ambientali preesistenti. Tutto ciò va fatto sia per il manufatto che per eventuali accessori, quali cornici, contenitori o appoggi.

2.7.3 La Fase III: Elaborazione delle check list

Le informazioni specifiche e generali ottenute nelle fasi precedenti vengono sintetizzate in schede, al fine di pianificare l'indagine strumentale da effettuare. In particolare, sulla base delle risultanze delle check list compilate nelle fasi precedenti, e tenendo presente la disponibilità di budget e di strumentazione disponibile, si individuano la priorità degli interventi, il numero e

la localizzazione dei punti di rilevamento, le modalità di esecuzione delle misure, i tempi del rilevamento.

Il risultato finale della diagnosi ambientale dipende fortemente da questa sottofase di monitoraggio sensoriale che permette di avere un quadro affidabile del reale stato delle cose.

2.7.4 La Fase IV: Indagine strumentale

In questa fase vengono effettuate le indagini strumentali per la determinazione dei valori delle concentrazioni dei principali contaminanti gassosi e del particolato, oltre a quelli dei parametri termoigrometrici e illuminotecnici che possono contribuire ad aumentare il degrado, secondo la norma UNI 10829 (UNI, 1999). Ovviamente, è importante calibrare la strumentazione utilizzata per le rilevazioni, prima e dopo le misure, al fine di garantire l'attendibilità dei dati rilevati.

In Tabella 2.15 si riportano i principali parametri oggetto dell'indagine strumentale.

I risultati in forma grafica di una campagna di monitoraggio microclimatico effettuata, e tuttora in corso, presso il Museo Archeologico Nazionale di Paestum sono riportati in appendice.

2.7.5 La Fase V: Controlli specialistici mirati

Quando le misurazioni effettuate nelle fasi precedenti mettono in evidenza un'elevata contaminazione da parte di particolari agenti chimici e biologici oppure condizioni termoigrometriche non accettabili, quali brusche variazioni della temperatura o dell'umidità relativa che, oltre ad essere dannose di per sé, influenzano quasi tutti i processi di deterioramento, su specifica richiesta del

committente o del conservatore si passa alla quinta fase, nella quale sono compresi tutti i controlli specialistici mirati, quali la misura delle concentrazioni di particolari inquinanti e le indagini chimiche e biologiche, come sintetizzato in Tabella 2.16.

Tabella 2.15 - Principali parametri oggetto dell'indagine strumentale.

Parametri	Unità di misura
termoigrometrici: temperatura dell'aria, θ^1 temperatura superficiale degli oggetti e delle pareti ² , θ_s temperatura media radiante, θ_r umidità relativa dell'aria, u^1 velocità dell'aria, v efficienza di ventilazione, ε	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ % m/s -
di qualità dell'aria:	
contaminanti gassosi concentrazione di O_3 , SO_x , NO_x , CO_x , H_2S , NH_3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
particolato concentrazione di particolato totale sospeso, PTS concentrazione di PM_{10}^3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
illuminotecnici:	
illuminamento, E	lx
quantità di radiazione ultravioletta ($0,315 \leq \lambda \leq 0,400 \mu\text{m}$), UV	$\mu\text{W}/\text{lm}$
¹ per la temperatura e l'umidità relativa dell'aria vanno misurati il valore massimo e quello minimo riscontrati nell'arco di un giorno tipo, e il valore assoluto e quello assoluto della differenza di temperatura tra due punti di misura adiacenti; inoltre, vanno misurate le escursioni di temperatura tra due ore successive, nelle 24 ore, nella settimana, nel mese e nell'anno. ² secondo quanto previsto dalla norma UNI 10829 (UNI, 1999). ³ polveri con diametro aerodinamico inferiore a 10 μm .	

2.7.6 Risultati e ipotesi di intervento

Dall'esame delle osservazioni dirette, eseguite a livello macroscopico sia sull'ambiente che sugli oggetti, e dall'analisi dei risultati e delle misure ottenute sulla base del protocollo, è quindi possibile definire le azioni correttive,

le ipotesi di interventi e le soluzioni tecniche specifiche per rendere l'ambiente museale compatibile con le esigenze di conservazione.

Tabella 2.16 - Esempio di parametri esaminati dei controlli specialistici mirati.

Controllo di particolari sorgenti di inquinanti
Misura della concentrazione:
di particolato fine, PM 2,5 ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
piombo e benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
di formaldeide (CH_2O) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
di acido acetico e formico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
microbica nell'aria (UFC/m^3) ²
batterica (UFC/m^3)
fungina (UFC/m^3)
Rilievo di radioattività quale indice della contaminazione da radon (Bq/m^3)
Grado di corrosione di materiali metallici
Quantificazione di microrganismi quali muffe, materiale organico di origine animale o vegetale (pollini)
¹ polveri con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 μm
² l'acronimo UFC sta per Unità Formanti Colonia, misura del numero di microrganismi presenti in un dato campione solido, liquido o aeriforme, basata sulla proprietà di un singolo microrganismo di formare una colonia (visibile ad occhio nudo) quando cresciuto su un terreno di coltura semisolido.

La scelta e la pianificazione delle azioni da intraprendere non sono univoche e, affinché il risultato sia il migliore possibile, è necessario che vengano valutate, motivate e documentate dal tecnico in collaborazione con il conservatore; in Tabella 2.17 vengono riportati alcuni esempi di tipologie di intervento; chiaramente, si tratta solo di indicazioni dal momento che, dato l'elevato numero di variabili in gioco, occorrerà adattare l'intervento volta per volta al caso specifico.

È importante sottolineare che, laddove possibile, è opportuno effettuare una verifica dell'intervento che si vuole realizzare con sistemi informatici di simulazione; inoltre, è sempre conveniente che rimanga memoria presso il

museo delle misure effettuate in modo da avere, in seguito, una base di dati cui far riferimento per successive indagini ambientali.

Tabella 2.17 - Tipologie di intervento.

oggetto dell'intervento	ipotesi di intervento
involucro edilizio	Sostituzione infissi Istallazione bussole ingresso/uscita Sistemi passivi di captazione degli inquinanti Materiali di finitura
impianto di climatizzazione	Tipo di impianto Sistema di umidificazione/deumidificazione Sistema di filtrazione Modalità di diffusione e ripresa Modalità di gestione e manutenzione Sistema di regolazione
ambienti espositivi	Arredo - allestimento - materiali di rivestimento Sostituzione materiali di rivestimento Vetrine espositive
presenza di visitatori	percorsi di visita modalità di afflusso

2.8 IL RUOLO DELLA FISICA APPLICATA NELLA CONSERVAZIONE

L'apporto della fisica applicata alle problematiche della conservazione affonda le sue radici nel tempo, in quanto da sempre negli ambienti conservativi è stata utilizzata l'impiantistica termotecnica; un contributo scientifico si è avuto però solo a partire dagli ultimi decenni del secolo scorso, quando in molti musei sono comparsi i primi impianti di climatizzazione per il controllo

dei parametri termoigrometrici e della purezza dell'aria. Oggi, la ricerca effettuata a livello internazionale nell'ambito della fisica applicata e in Italia in quello della fisica tecnica ambientale, è giunta a risultati che vanno ben al di là della semplice progettazione dell'impianto; ne è un esempio chiaro il capitolo dell'Handbook Fundamentals dell'ASHRAE (ASHRAE, 2003) interamente dedicato alle problematiche dell'impiantistica museale. A livello italiano, si ricordano qui alcuni studi sulle condizioni termoigrometriche ottimali per i diversi tipi di materiali (Aghemo et al., 1997), quelli sulla termofluidodinamica nelle vetrine espositive (Biava et al., 1982; Lombardi e Casetta, 1991; Isetti e Magrini, 1995; Perino, 2005; Baggio et al., 2005), quelli sulla definizione delle soluzioni impiantistiche più consone alle problematiche della conservazione (Filippi, 1987; Bassi, 1991; Gasparini, 1991; Zecchin, 2005), quelli sull'influenza delle condizioni illuminotecniche sul degrado (Serra Lerchental, 1986; Bellia et al., 2005, Pellegrino, 2005), quelli sul degrado degli edifici storici dovuti alla presenza di umidità ascendente nelle murature (Aghemo et al., 1994; Alfano et al., 1997), oltre al lavoro in ambito normativo (d'Ambrosio e D'Agostino, 2005).

Purtroppo, a fronte di questo notevole lavoro di ricerca, va riscontrato un generale scarso coinvolgimento delle competenze della fisica applicata nelle problematiche della conservazione, se non per aspetti di consulenza meramente tecnica. In questo senso, va segnalata un'esperienza che la Campania vive oramai da più di dieci anni; infatti, nel 1993, nella Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, è stato istituito il CIBEC, Centro interdipartimentale di Ingegneria per i BENI Culturali, che raccoglie tutte le competenze ingegneristiche che possono fare da supporto al settore dei Beni Culturali, da quelle strutturali a quelle geotecniche, da quelle elettrotecniche a quelle fisico-chimiche, a quelle della fisica applicata; ciò con il fine di creare le condizioni per la formazione di una cultura critica

dell'Ingegneria, capace di confrontarsi con le altre culture sul piano della conoscenza storica e di sviluppare ricerche nei settori dell'ingegneria per i Beni Culturali, per contribuire allo sviluppo della conservazione e del restauro dei beni di interesse storico, artistico e culturale. In questi anni di attività, a testimonianza dell'importanza della integrazione tra le diverse competenze, il Centro ha sviluppato ricerche su progetti del C.N.R., ha svolto numerose consulenze per il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e per i suoi organi periferici, ha effettuato consulenze tecnico-scientifiche per conto delle Soprintendenze per i Beni Archeologici di Roma, Napoli, Caserta, Salerno e Avellino. Attualmente, il CIBEC è anche uno dei soggetti attuatori per il Centro di Competenza per la Conservazione, Valorizzazione e Fruizione dei Beni Culturali ed Ambientali della Regione Campania.

2.9 CONCLUSIONI

Nei musei sono generalmente previste opportune misure di prevenzione contro il rischio di furti, atti di vandalismo, incendi o eventi sismici. Per quanto riguarda, invece, il rischio di degrado connesso a non adeguate condizioni ambientali, è ancora raro che si effettui il monitoraggio ed il controllo delle condizioni termoigrometriche e delle concentrazioni dei principali inquinanti nelle aree in cui i beni sono esposti o conservati.

L'influenza dei fattori ambientali sullo stato di conservazione dei manufatti è sicuramente certo; tuttavia, la complessità del problema ed il fatto che a tutt'oggi esso non venga affrontato in maniera univoca e con il coinvolgimento di tutte le professionalità e le competenze interessate, rendono necessaria la definizione di strategie condivise di Conservazione Preventiva che considerino anche gli aspetti microclimatici.

La realizzazione di un ambiente “idoneo” alla conservazione, concetto ormai richiamato anche nella normativa vigente, non è certamente un problema dalla soluzione immediata, tuttavia occorre dotare gli operatori di protocolli operativi, del tipo di quello qui presentato, che risultino relativamente semplici, pur tenendo conto di tutte le variabili in gioco.

3. LE VETRINE MUSEALI

3.1 LE FUNZIONI DELLE VETRINE MUSEALI

Nei musei gli oggetti sono spesso esposti in apposite vetrine o bacheche, aventi soprattutto finalità di proteggere le opere dalla polvere, dai furti, da atti di vandalismo o da involontari danneggiamenti dovuti ai visitatori. Da qualche anno si va sempre più diffondendo l'uso di vetrine nelle quali vengono mantenute fissate condizioni termoigrometriche, in quanto spesso, per esigenze di conservazione di singoli oggetti o di collezioni, sono richieste condizioni termoigrometriche che non è possibile e/o conveniente realizzare in tutto l'ambiente espositivo o anche perché, nel caso di mostre temporanee di collezioni d'arte "prese in prestito" da altri musei, il proprietario della collezione richiede che l'ambiente di conservazione risponda a determinate specifiche. A tal fine risulta fondamentale che la vetrina sia caratterizzata da una buona "tenuta all'aria", in modo che i parametri termoigrometrici, in particolare l'umidità relativa all'interno del contenitore, non risentano delle variazioni che si possono avere nel locale in cui la vetrina stessa è posizionata; inoltre, la buona tenuta all'aria limita l'infiltrazione di sostanze inquinanti.

3.2 LE PRESTAZIONI RICHIESTE ALLE VETRINE MUSEALI

Le vetrine museali devono dare risposta, essenzialmente, a due esigenze conservative primarie:

- la sicurezza, intesa come protezione degli oggetti esposti da azioni intenzionali o non intenzionali, da incendi e da sollecitazioni da trasporto o terremoti;
- il microclima, inteso come insieme di temperatura dell'aria e umidità relativa (sia in termini di valori assoluti che di gradienti temporali), di concentrazioni di inquinanti gassosi ed aerosospesi;

L'importanza che questi requisiti hanno per la corretta progettazione e scelta di una vetrina museale è testimoniata dall'interesse che i contenitori espositivi hanno sollecitato sia a livello ministeriale con l' "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standards di funzionamento e sviluppo dei musei" (M.BB.CC. 2001), sia a livello normativo, con il progetto di norma U84000046 (UNI, 2004) sviluppato dal Gruppo di Lavoro 22 "Museotecnica" della Commissione Beni Culturali dell'UNI.

3.2.1 Il progetto di norma UNI U84000046

Il progetto di norma U84000046 (UNI, 2004) ha lo scopo di dare un'indicazione oggettiva sulla qualità di una vetrina; tale indicazione tiene conto delle funzioni principali di un contenitore espositivo, in particolare la conservazione, la protezione e la fruibilità, sulla base delle quali la vetrina viene classificata in modo univoco.

Per quanto riguarda la funzione conservazione, i parametri dei quali si valuta la classe sono:

- a) surriscaldamento a seguito di illuminazione interna;

- b) surriscaldamento a seguito di illuminazione esterna;
- c) smorzamento delle variazioni termiche;
- d) capacità di Tamponamento Igrometrico;
- e) velocità di Risposta ai Cambiamenti Igrometrici;
- f) scambi con l'esterno;
- g) compatibilità chimica;
- h) controllo della qualità dell'aria.

Per la funzione protezione, i parametri dei quali si valuta la classe sono:

- a) livello di sicurezza;
- c) resistenza al fuoco.

Infine, per la funzione fruibilità, i parametri dei quali si valuta la classe sono:

- a) trasparenza ottica;
- b) illuminazione interna;
- c) allestibilità.

Ciascun parametro viene classificato secondo una scala di valori a quattro punti, dalla lettera A alla lettera D, nella quale alla lettera A corrisponde la migliore prestazione. Alla fine l'insieme delle valutazioni fornisce un quadro delle caratteristiche di una vetrina e della sua capacità di rispondere a determinate sollecitazioni.

Si riporta l'aggiornamento del progetto di norma al novembre 2005.

3.2.2 Il testo del progetto di norma

Gruppo di Lavoro 22 "Museotecnica" UNI-NORMAL

Progetto di norma – aggiornamento Novembre 2005

U840000460

Beni Culturali

Cultural Heritage

Vetrine per esposizioni permanenti e temporanee: criteri generali per la classificazione della qualità delle vetrine in risposta alla variabilità microclimatica ambientale

Showcases for permanent or temporary exhibition: general criteria for the classification of show cases in response to the environmental microclimate variability

PREMESSA

Una vetrina deve soddisfare alle finalità prioritarie di conservazione, protezione e fruibilità. Data la complessità delle caratteristiche cui una vetrina deve rispondere, la qualità non può essere espressa con un'unica indicazione globale, ma viene articolata in più **categorie tipologiche**, definite in modo preciso e quantificabile, una per ogni caratteristica d'interesse. Questa norma si limita a considerare la risposta della vetrina alla **variabilità microclimatica ambientale**.

Il livello di qualità raggiunto in ogni categoria tipologica viene stabilito per mezzo **classi di qualità** con valutazione di tipo A, B, C, D che costituisce un punteggio da assegnarsi passando dalla qualità migliore alla peggiore.

L'insieme delle categorie tipologiche e della loro valutazione in classi di qualità definisce nel modo più oggettivo le caratteristiche di una vetrina e la sua capacità di rispondere a determinati problemi.

A seconda dell'uso e delle esigenze specifiche potranno interessare maggiormente certe categorie tipologiche, o certi loro raggruppamenti, mentre altre possono essere del tutto indifferenti. Le categorie tipologiche e le classi di qualità permettono all'acquirente di effettuare una scelta oculata del prodotto in base alle proprie esigenze specifiche, trovando una precisa risposta ai propri problemi e pagando un prezzo congruo al loro soddisfacimento, anche evi-

tando di acquistare vetrine di classe superiore per quanto riguarda caratteristiche di non interesse. Queste esigenze possono cambiare da caso a caso, e per la scelta della vetrina più idonea serve un'indicazione oggettiva di come ogni vetrina risponde ai singoli fattori.

Lo scopo di questa norma è di stabilire i criteri per definire la classe di qualità delle vetrine secondo le varie categorie tipologiche cui esse devono rispondere per assicurare un adeguato livello di conservazione ai beni culturali anche nel caso di una variabilità microclimatica ambientale.

Scopo e campo di applicazione

La presente norma descrive una metodologia per l'identificazione e la classificazione delle vetrine per esposizioni permanenti e temporanee, mediante la definizione e la misurazione di caratteristiche funzionali oggettive e verificabili proprie del prodotto in risposta alla variabilità microclimatica ambientale. Una vetrina deve portare una chiara indicazione delle proprie caratteristiche per quanto concerne le diverse esigenze, a seconda delle necessità intrinseche dei beni culturali da esporre, delle caratteristiche ambientali e delle richieste del committente. Questa prima norma si limita all'aspetto microclimatico.

Riferimenti normativi *(da compilare)*

UNI 10390

UNI 10653

UNI 10893

Termini e definizioni

A fini della presente norma si applicano i termini e le definizioni seguenti:

Vetrina: Contenitore apribile dotato di una o più pareti trasparenti, tale da permettere la conservazione, la protezione e l'esposizione del suo contenuto.

Volume espositivo/ conservativo: volume d'aria utilizzabile ai fini espositivi/ conservativi.

Vetrina a tenuta: vetrina che presenta scambi d'aria con l'esterno minori di 0,1 volumi/giorno

Vetrina ad atmosfera controllata a sistemi attivi: vetrina a tenuta, in cui il controllo del microclima è basato su sistemi di condizionamento che dipendono da sorgenti di energia esterne, quali riscaldatori, condizionatori d'aria, deumidificatori. Tali sistemi di condizionamento possono essere sia individuali, per ogni singola vetrina, sia centralizzati. Il mantenimento, entro i limiti programmati, dei parametri microclimatici richiesti è assicurato da un sistema di regolazione retroazionato.

Vetrina ad atmosfera stabilizzata a sistemi passivi: vetrina a tenuta, in cui il controllo del microclima è basato su sistemi chimico-fisici che non dipendono da sorgenti di energia. Ne sono un tipico esempio gli stabilizzatori di umidità relativa a gel di silice.

Vetrina ad atmosfera modificata: una vetrina a tenuta, in cui la composizione chimica dell'atmosfera interna è stabilmente diversa da quella dell'atmosfera esterna.

Conservazione: capacità di ridurre la velocità il degrado degli oggetti esposti per cause fisico-chimiche.

Protezione: capacità di proteggere il proprio contenuto da eventi di natura vandalica, meccanica, antropica e naturale.

Sicurezza: capacità di proteggere terzi da eventuali rischi connessi con la vetrina e il suo contenuto.

Equipaggiamento: l'insieme dei dispositivi utili a fornire illuminazione, trasformatori elettrici, sistemi di movimentazione dell'aria o di aperture e ogni altro sistema che utilizzi energia.

Manutenzione: facilità di utilizzo da parte degli operatori ai fini di pulizia, restauro, riallestimento delle collezioni, ecc.

Capacità di Tampone Igrometrico (CTI): capacità della vetrina di sottrarre o fornire all'aria interna del vapore in modo da attenuare eventuali variazioni termoigrometriche ambientali. Si misura in grammi di acqua su volume espositivo/ conservativo (g/m^3). Nel caso di vetrine non a tenuta, la capacità di tampone igrometrico viene definita come la capacità di assorbire squilibri igrometrici dovuti sia a cambiamenti di temperatura, sia a scambi di vapore con l'esterno.

Scambi con l'esterno (SAE): indicazione della tenuta della vetrina rispetto all'aria. Unità di misura: ore.

Smorzamento delle variazioni termiche (SVT): tempo di risposta della vetrina ad una variazione di temperatura esterna. Unità di misura: ore.

Surriscaldamento della vetrina a seguito del proprio equipaggiamento (SEQ): l'aumento termico subito dall'atmosfera interna alla vetrina a seguito del funzionamento dei dispositivi attivi facenti parte del proprio equipaggiamento. Unità di misura: gradi Celsius.

Surriscaldamento della vetrina a seguito di una illuminazione esterna (SIL): l'aumento termico subito dall'atmosfera interna alla vetrina a seguito di illuminazione esterna. Unità di misura: gradi Celsius.

Velocità di Risposta ai Cambiamenti Igrometrici (VCI): tempo impiegato dalla vetrina per rispondere ad un cambiamento igrometrico, attenuandolo. Unità di misura: ore.

Filtraggio Radiazione Ultravioletta (FRU): La capacità di filtraggio della radiazione UV viene definita in termini della percentuale della radiazione UV trasmessa all'interno della vetrina. Unità di misura: %

Resistenza agli eventi Estremi: Incendio (REI): serie delle tre temperature critiche a cui la vetrina: (1) incomincia a rilasciare sostanze organiche volatili (VOC), (2) ha lo sportello difficilmente apribile, (3) può resistere per oltre 4 ore prima di subire danni strutturali. Unità di misura: °C.

Resistenza agli eventi Estremi: Esondazione (REE): tempo in cui la vetrina può rimanere sommersa alla pressione di 100hPa prima che penetri acqua. Unità di misura: ore.

Volume Efficace: volume equivalente a quello della vetrina e ai volumi di aria scambiati con l'esterno nel tempo considerato.

Tempo di Ricambio: tempo necessario per scambiare un volume d'aria pari al volume della vetrina.

Numero di Ricambi Giornalieri (NRG): Volume d'aria scambiato con l'esterno nel corso di un giorno diviso per il volume della vetrina.

Classificazione

La classificazione della vetrina avviene sulla base della valutazione di sei parametri, definiti in 4.1. Per ciascuno di essi sono definite quattro classi di qualità e ciascuna classe è definita da un intervallo di valori dei parametri significativi, che verranno successivamente definiti in un Allegato Tecnico.

L'attribuzione della classe di qualità ad una vetrina viene fatta oggettivamente sulla base dei risultati delle prove da effettuarsi con i metodi che verranno definiti in un Allegato Tecnico.

Parametri di valutazione come risposta al microclima

Per la funzione di conservazione, si valuta la classe di qualità dei parametri:

- a) surriscaldamento a seguito di illuminazione esterna (SIL);
- b) surriscaldamento a seguito del proprio equipaggiamento (SEQ);
- c) smorzamento delle variazioni termiche (SVT);
- d) smorzamento delle variazioni igrometriche (SVI);
- e) velocità di risposta ai cambiamenti igrometrici (VCI);
- f) scambi con l'esterno (SAE).
- g) filtraggio radiazione ultravioletta (FRU)
- h) Resistenza agli eventi Estremi: Incendio (REI) ed Esondazione (REE)

Di seguito vengono qualitativamente definiti questi parametri assieme alla metodologia con cui vanno fatte le misurazioni per stabilire a che valore quantitativo di ognuno di questi risponde una vetrina.

Le classi di qualità di ogni indice, definite da specifici intervalli quantitativi, verranno riportate in un apposito Allegato Tecnico.

Definizione dei parametri e delle modalità di misura

Surriscaldamento della vetrina a seguito di una illuminazione standard esterna (SIL). Le classi di qualità diminuiranno dalla classe A verso la classe D con l'aumentare dell'effetto, misurabile in termini di aumento di temperatura ΔT dell'atmosfera interna dopo un certo tempo di illuminazione. Il test va effettuato con tutti gli apparati di equipaggiamento a bordo vetrina disattivati.

Il test va fatto illuminando con una sorgente luminosa di riferimento una superficie grigia ad assorbimento standard posta all'interno della vetrina. La superficie grigia ad assorbimento standard deve avere riflettanza del $18\% \pm 1\%$, omogeneamente distribuita su tutto lo spettro da 400 a 700 nm. Il raggio luminoso deve essere perpendicolare alla superficie assorbente e questa deve essere posta nell'interno della vetrina.

La sorgente luminosa di riferimento è di tipo alogeno con temperatura di colore (CCT) 3190 K, che dà un illuminamento di 500 lux sulla superficie grigia.

Il test va effettuato illuminando l'intera vetrina con un illuminamento uniforme. Questo si ottiene ponendo una o più sorgenti luminose all'esterno della vetrina, in modo da assicurare un fascio di luce entrante omogeneo, ovvero in modo di avere il rapporto tra l'illuminamento di ogni massimo e di ogni minimo superiore a 0.5. Inoltre il fascio luminoso deve mantenersi sostanzialmente costante per tutto il periodo del test.

Una superficie grigia ad assorbimento standard posta all'interno della vetrina va illuminata con un fascio di luce ad essa perpendicolare e deve avere l'estensione massima possibile all'interno della vetrina.

Nel caso di vetrine a forma parallelepipedica, il fascio di luce del test deve attraversare la vetrina parallelamente allo spigolo minore compatibilmente con la trasparenza delle superfici, e la superficie di assorbimento va posta nella superficie interna su cui il fascio luminoso va a incidere perpendicolarmente.

Nel caso di vetrine a forma cilindrica la superficie assorbente va posta secondo l'asse del cilindro. Nel caso di vetrina emisferica, la superficie assorbente deve essere adagiata sulla base dell'emisfera.

L'effetto si misura in termini di riscaldamento dell'atmosfera interna, normalmente al centro della vetrina o dello spazio utile. Nel caso di vetrine a forma cilindrica, la temperatura dell'aria va misurata al centro dello spazio che rimane tra la superficie grigia assorbente e il semicilindro illuminato. Nel caso di vetrina emisferica, la temperatura dell'aria va misurata al centro dello spazio che rimane tra la superficie grigia assorbente e l'emisfera. Nel caso di vetrine con forma geometrica composta, vanno fatte più misure, una per ogni

volume geometrico elementare in cui la vetrina è divisibile, e l'indice sarà stabilito sulla base del valore più sfavorevole.

Il surriscaldamento va misurato dopo 30 minuti di illuminazione per vedere la sua capacità di smorzamento alle variazioni brusche e dopo 6 ore di illuminazione, considerando 6 ore un tipico tempo di esercizio in un museo. Il primo surriscaldamento verrà indicato come $\Delta T(30 \text{ min})$, e il secondo come $\Delta T(6 \text{ ore})$ e vanno riferiti alla differenza tra la temperatura all'interno della vetrina tra l'istante considerato e quello iniziale. All'inizio del test le temperature interna ed esterna alla vetrina devono essere in equilibrio e coincidenti. La temperatura esterna alla vetrina non deve diminuire.

L'indice SIL è definito come somma dei due surriscaldamenti a breve e lungo termine:

$$\text{SIL} = \Delta T(30 \text{ min}) + \Delta T(6 \text{ ore}). \quad \text{Unità di misura: } ^\circ\text{C}.$$

Surriscaldamento della vetrina a seguito del proprio equipaggiamento (SEQ).

Il test va effettuato attivando tutti gli equipaggiamenti al momento di inizio del test. La vetrina deve essere inizialmente in equilibrio termico con l'ambiente e rimanervi, come per il caso precedente.

Le classi di qualità vengono definite sulla base del surriscaldamento osservato dopo 30 minuti e 6 ore di funzionamento in ambiente a temperatura costante.

L'indice SEQ è definito come somma dei due surriscaldamenti a breve e lungo termine:

$$\text{SEQ} = \Delta T(30 \text{ min}) + \Delta T(6 \text{ ore}). \quad \text{Unità di misura: } ^\circ\text{C}.$$

Smorzamento delle variazioni termiche (SVT)

Per le vetrine e per le nicchie gli indicatori e le modalità di misurazione sono diverse, per cui vengono definiti due indici distinti, rispettivamente $(SVT)_V$ e $(SVT)_N$.

1) Nel caso di vetrine all'aria libera, il test per determinare $(SVT)_V$ parte da una condizione iniziale in cui la vetrina si trova in equilibrio termico con l'ambiente che la contiene, sia esso una stanza o una camera climatica. La variazione della temperatura dell'aria all'interno va misurata al centro della vetrina o nelle posizioni definite al punto 4.2.a a seconda della tipologia della vetrina. A un certo istante si applica all'ambiente una variazione termica a gradino, con una ampiezza ΔT_{est} di almeno 5°C ottenuti in meno di 5 minuti, e si misurano i due tempi t_{10} e t_{50} necessari perché il sensore termico posto come indicato raggiunga prima il 10% e poi il 50% dello sbalzo termico esterno ΔT_{est} .

Per le vetrine l'indice $(SVT)_V$ viene definito dall'intervallo di tempo che intercorre tra t_{10} e t_{50} :

$$(SVT)_V = t_{50} - t_{10} \quad \text{Unità di misura: ore.}$$

2) Per quanto riguarda le nicchie, l'indice $(SVT)_N$ è dato dal coefficiente di trasmissione termica K corrispondente all'insieme della superficie vetrata con la sua struttura di supporto.

$$(SVT)_N = K \quad \text{Unità di misura: watt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Smorzamento delle Variazioni Igrometriche (SVI)

Ciò che maggiormente interessa all'interno della vetrina è la costanza dell'Umidità Relativa (UR). Non ha senso considerare uno smorzamento delle variazioni igrometriche dal solo rapporto tra la variazione di UR riscontrata all'interno ΔUR_{int} quando avviene una certa variazione all'esterno ΔUR_{est} in quanto la costanza dell'UR richiede la costanza di due variabili indipendenti: della temperatura T e dell'Umidità Specifica US .

Occorrerà pertanto definire l'indice SVI nei due modi possibili:

1) $(SVI)_T$ supponendo costante il contenuto di vapore in aria e variabile la temperatura della vetrina;

2) $(SVI)_{US}$ supponendo costante la temperatura della vetrina e variabile il contenuto di vapore in aria.

1) Nel caso di temperatura variabile, la stessa variazione di UR avviene tanto per vetrine sigillate che non sigillate in quanto l'US rimane costante. Per $(SVI)_T$ va fatto riferimento a un riscaldamento termico a gradino dell'ambiente, con una ampiezza ΔT_{est} di $5^\circ C$ ottenuti in meno di 5 minuti. Dopo 6 ore la vetrina si sarà riscaldata come visto per SVT. $(SVI)_T$ viene determinato sulla base della variazione di UR, ΔUR , che si riscontra all'interno della vetrina. Si definisce il valore $(SVI)_T$ come somma dei due valori, rispettivamente estivo e invernale, che si ottengono per ΔUR quando US è rispettivamente $US=20$ g/kg e $US=4$ g/kg.

$$(SVI)_T = (\Delta UR)_{US=20} + (\square UR)_{US=4} . \quad \text{Unità di misura: \%}.$$

2) Nel caso di US variabile, l'indice $(SVI)_{US}$ è applicabile solo a una vetrina sigillata o a una non sigillata ma provvista di un sistema di compensazione attivo/passivo. Per $(SVI)_{US}$ va fatto riferimento alla capacità di neutralizzare variazioni di US. Il vapore potrà essere assorbito o emesso in modo passivo da sostanze tampone, o da parti della struttura stessa della vetrina che possono operare in tal senso, o potrà essere regolato con dispositivi attivi.

Per una **vetrina ideale perfettamente sigillata**, la capacità di tampone igrometrico viene definita facendo riferimento alla quantità di vapore che è in grado di assorbire o emettere per ogni 1 m^3 del proprio volume quando la vetrina parte da una condizione di equilibrio con l'ambiente a $T= 25^\circ C$ e $UR=50\%$ cui corrisponde $US=10$ g/kg. L'indice $(SVI)_{US}$ viene quindi espresso come numero di grammi di vapore che possono essere adsorbiti o rilasciati

per m³ di vetrina. Questi vengono misurati iniettando vapore sino a che si osserva un aumento di 0,1 g/kg.

Nel caso di una vetrina reale dovrà esser definita la capacità tampone della vetrina al seguito dell'effetto combinato non solo di una variazione esterna di US, ma anche in funzione del flusso di scambio interno-esterno che può aumentare la richiesta della capacità di tampone. Nel caso di una vetrina reale, dotata di scambi con l'esterno, il proprio *volume efficace* aumenta con il diminuire del *tempo di ricambio*. L'indice (SVI)_{US} viene definito come numero di grammi di vapore che possono essere adsorbiti o rilasciati per m³ di vetrina per tamponare il volume corrispondente all'aria presente e a quella ricambiata nel corso di una settimana. L'indice (SVI)_{US} si ottiene dal valore inizialmente misurato per m³ di vetrina (SVI)_{US0}, moltiplicato per il numero di ricambi giornalieri (NRG) e per i giorni della settimana.

$$(SVI)_{US} = (SVI)_{US0} * NRG * 7 \text{ Unità di misura: g H}_2\text{O/m}^3$$

Velocità di risposta ai Cambiamenti Igrometrici (VCI).

Questo indice definisce la prontezza con cui la vetrina risponde a un cambiamento igrometrico attenuandolo, e viene definito sulla base del tempo necessario a tamponare una quantità definita di vapore immessa nella vetrina. Il test prevede che nella vetrina preventivamente condizionata a 25°C e 50% di UR, con un igrometro sospeso al centro, venga immesso del vapore al tasso di 10 g d'H₂O per m³ di volume. Si misura quindi il tempo necessario affinché l'igrometro passi dal valore di picco al 50% della differenza tra il valore di picco e quello iniziale.

$$VCI = t_{picco} - t_{50} . \text{ Unità di misura: ore.}$$

Scambi d'aria con l'esterno (SAE).

Per una vetrina, gli scambi della propria atmosfera interna con l'esterno portano all'ingresso di inquinanti e polveri indesiderati e alla fuoriuscita pro-

gressiva dell'atmosfera inizialmente presenti all'interno. Lo scambio con l'esterno viene complessivamente definito in uno dei tre modi seguenti:

1) dal tempo necessario per dimezzare (all'interno della vetrina) una sovrappressione artificialmente creata iniettando aria. Le classi di qualità SAE si definiscono operando in ambiente isoterma, non ventilato e senza turbolenza

2) dal tempo necessario per dimezzare (all'interno della vetrina) una sovrappressione artificialmente creata aumentando di 10°C la temperatura della vetrina. Le classi di qualità SAE si definiscono operando in ambiente con riscaldamento di 10°C ottenuto in 10 minuti, non ventilato e senza turbolenza.

3) dal tempo necessario per dimezzare (al centro della vetrina) la concentrazione di un tracciante gassoso (SF₆) inizialmente presente e ben rimescolato all'interno della vetrina. Le classi di qualità SAE si definiscono operando in ambiente isoterma, non ventilato e senza turbolenza

I primi due metodi risentono maggiormente di scambi idrodinamici mentre il terzo di scambi diffusivi. La situazione più realistica ed importante è la seconda che viene assunta come riferimento in questa normativa.

$$SAE = t_{iniz} - t_{50} \text{ .Unità di misura: ore.}$$

Filtraggio Radiazione Ultravioletta (FRU)

La capacità di filtraggio della radiazione UV viene definita in termini della quantità della radiazione UV trasmessa all'interno della vetrina. La vetrina viene illuminata con radiazione UV dall'esterno UV_{est} e un sensore di UV viene posto all'interno per misurarne la quantità passata UV_{int} e calcolarne l'attenuazione. Se la vetrina ha pareti a spessore o a materiale trasparente diverso, la misurazione va ripetuta per ogni parete.

$$FRU = 100 (UV_{est} - UV_{int}) / UV_{est} \text{ . Unità di misura: \%}$$

Resistenza agli eventi Estremi: Incendio (REI) ed Esondazione (REE)

Dovrà essere data indicazione come la vetrina si comporta nel caso dei seguenti eventi estremi con implicazioni di tipo microclimatico:

1) incendio, indice REI

L'indice REI riporta:

a) la temperatura (°C) a cui la vetrina incomincia a rilasciare sostanze organiche volatili (VOC)

b) la temperatura (°C) a cui diventa difficile aprire lo sportello della vetrina

c) la temperatura (°C) a cui la vetrina può resistere per oltre 4 ore prima di subire danni strutturali

L'indice REI è composto dalla serie delle tre temperature critiche (unità di misura: °C) e da queste viene definita la classe di qualità.

2) esondazione, indice REE

L'indice REE indica per quante ore la vetrina può rimanere sommersa alla pressione di 100hPa (corrispondente ad 1m di acqua) prima che penetri acqua. Unità di misura: ore.

Identificazione delle vetrine ad atmosfera controllata

La vetrina viene identificata in base alla capacità di mantenere la propria atmosfera interna.

Vetrina ad atmosfera modificata

Il mantenimento dei parametri chimico - fisici dell'atmosfera interna ed il controllo del microclima sono basati su sistemi che dipendono da sorgenti di energia esterne, quali riscaldatori, condizionatori d'aria, deumidificatori, umidificatori, sistemi di immissione e drenaggio dei gas. Tali sistemi possono essere sia individuali, per ogni singola vetrina, sia centralizzati. Il mantenimento, entro i limiti programmati, dei parametri chimico - fisici e microclimatici richiesti è assicurato da un sistema di regolazione retroazionato. Maggiore affidabilità è fornita da vetrine di classe non inferiore a SAE B.

Vetrina ad atmosfera controllata mediante sistemi attivi

Il controllo del microclima è basato su sistemi di condizionamento che dipendono da sorgenti di energia esterne, quali riscaldatori, condizionatori d'aria, deumidificatori, umidificatori. Maggiore affidabilità è fornita da vetrine di classe non inferiore a SAE C.

Vetrina ad atmosfera stabilizzata mediante sistemi passivi

Il controllo del microclima è basato su sistemi chimico – fisici che non dipendono da fonti di energia. Maggiore affidabilità è fornita da vetrine di classe non inferiore a SAE B.

Vetrina priva di provvedimenti per la conservazione:

Vetrina non a tenuta e priva di provvedimenti per il controllo del microclima.

Marcatura della vetrina

La marcatura della vetrina si effettua apponendo, in posizione visibile almeno durante le operazioni di manutenzione, una targa identificativa, in cui siano riportati in modo indelebile i dati seguenti.

- Ragione sociale del produttore
- Codice identificativo del tipo di prodotto
- Numero di matricola del prodotto
- Potenza elettrica eventualmente installata e tensione d'alimentazione
- Designazione della vetrina

Documentazione tecnica obbligatoria – Fascicolo Tecnico

Per ogni fornitura deve essere approntato un fascicolo tecnico ai sensi delle Direttive 89/392/CEE [1] – allegato V, allegato VI, 91/368/CEE [2], 93/44/CEE [3] e 93/68/CEE [4].

Il fascicolo tecnico deve comprendere la documentazione seguente:

- Caratteristiche dei materiali e delle tecniche costruttive, con particolare indicazione delle sostanze (come ad es. vernici, collanti, sigillanti, legno), in grado di rilasciare composti volatili organici (VOC) specificandone il tipo.
 - Dichiarazione di conformità (per ogni singolo prodotto)
 - Certificato di collaudo (per ogni singolo prodotto)
 - Manuale di uso e manutenzione (per ogni tipologia di prodotto, con le varianti necessarie)(vedi Norma UNI-10893 e UNI-10653), comprendente:
 - Procedure di installazione e movimentazione
 - Procedure di apertura/chiusura
 - Procedure di manutenzione ordinaria
 - Procedure di manutenzione straordinaria e sostituzione di componenti
 - Guida alla ricerca e riparazione dei guasti
 - Procedure per la pulizia delle superfici interne ed esterne
 - Guida alla compatibilità dei materiali
 - Disegni di assieme del prodotto con indicazione degli ingombri in apertura e chiusura
 - Schemi funzionali degli impianti installati
 - Schemi di connessione
 - Distribuzione dei pesi e dei carichi superficiali
1. Certificazione tecnica dei materiali impiegati.
 2. Certificazione di sicurezza dei materiali impiegati.
 3. Condizioni ed esclusioni di garanzia.

3.2.3 Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standards di funzionamento e sviluppo dei musei

Il Decreto del Ministero dei Beni Culturali (M.BB.CC. 2001) tocca gran parte degli aspetti relativi alla conservazione e si occupa specificamente anche delle vetrine museali.

Per quanto riguarda i principali fattori che determinano la qualità dello stato di conservazione di un manufatto il Decreto dispone che per la vetrina sia prevista:

- la realizzazione di un'atmosfera controllata e il facile monitoraggio di quest'ultima;
- la prevenzione ed il controllo delle sollecitazioni fisiche esterne dovute ad eventi antropici o naturali quali, ad esempio, urti accidentali o volontari, sollecitazioni da trasporto, terremoti;
- la facile accessibilità in relazione al controllo diretto del manufatto, alle manutenzioni ordinarie e alle eventuali operazioni di pronto intervento conservativo;

ovviamente, queste caratteristiche devono essere previste già in fase progettuale, in modo che il sistema vetrina diventi un organismo funzionale unico col sistema degli oggetti conservati.

Nel caso di vetrine ad atmosfera controllata o stabilizzata, il Decreto stabilisce che venga effettuato il massimo contenimento delle oscillazioni termoisometriche e degli scambi d'aria con l'ambiente esterno e che venga garantita la possibilità di una manutenzione semplice degli impianti di condizionamento, sia passivi sia attivi, installati all'interno o all'esterno del contenitore.

Nel Decreto si accenna anche al tipo di illuminazione, ai materiali da utilizzare e all'aspetto estetico del contenitore espositivo che, all'atto della progettazione, deve essere subordinato a quello prioritario della conservazione

del manufatto garantendo, nel contempo, la migliore visibilità e fruibilità degli oggetti esposti.

3.3 IL CONTROLLO DEL MICROCLIMA NELLE VETRINE MUSEALI

Il problema del controllo igrometrico delle vetrine museali può essere affrontato, in linea di principio, con sistemi passivi, che operano tramite assorbimento e deassorbimento di vapore da parte di opportuni materiali igroscopici, o con sistemi di controllo attivo, in grado di attuare, quando necessario, processi sia di deumidificazione che di umidificazione dell'aria. In entrambi i casi, ma soprattutto qualora si scelgano sistemi di tipo passivo, è di primaria importanza la conoscenza del numero di ricambi d'aria giornalieri della vetrina, grandezza che può essere sperimentalmente determinata misurando il decadimento della concentrazione di un gas tracciante immesso nella vetrina, come si vedrà in seguito.

La misura degli scambi d'aria tra l'interno e l'esterno del contenitore espositivo, unitamente al monitoraggio di temperatura e umidità relativa dell'aria e alla individuazione degli inquinanti presenti, contribuiscono a definire l'effettiva situazione di rischio per l'oggetto "conservato" e forniscono, quindi, indispensabili indicazioni per eventuali scelte sia tecniche che gestionali.

3.3.1 Sistemi attivi e passivi per il controllo delle condizioni termoi-grometriche

I sistemi di controllo attivo, che possono essere identificati con piccoli climatizzatori, sono in grado di mantenere valori prefissati della temperatura e

dell'umidità relativa dell'aria con piccolissimi scarti, mentre i sistemi passivi, quali isolanti termici o materiali ad elevata inerzia termoigrometrica oppure sostanze in grado di assorbire o cedere vapor d'acqua, hanno essenzialmente la funzione di attenuare i cicli giornalieri e stagionali di temperatura ed umidità.

I sistemi attivi sono in teoria quanto di meglio si possa pensare ma, nella pratica, sono piuttosto costosi e presentano lo stesso inconveniente di un impianto di climatizzazione: infatti, in caso di malfunzionamento o di cattiva gestione, si possono avere in breve tempo rilevanti variazioni delle grandezze controllate con conseguente pericolo per gli oggetti conservati.

I sistemi passivi, invece, prevedono un controllo del microclima basato su sistemi chimico-fisici, quindi con consumi energetici praticamente nulli; in pratica, agendo in maniera da ridurre la permeabilità all'aria della vetrina e introducendo in quest'ultima opportuni materiali, è possibile aumentare considerevolmente l'inerzia termica e, soprattutto, quella igrometrica della vetrina stessa (Magrini e Chiari, 1997). In questo caso, l'ambiente interno alla vetrina non risente delle oscillazioni di breve periodo del contenuto igrometrico dell'aria esterna, sia in conseguenza del limitato rinnovo d'aria interna, sia in virtù della sostanze igroscopiche presenti o dell'inerzia igrometrica dei materiali costituenti la vetrina (in questa ipotesi le oscillazioni di umidità relativa dell'aria interna, conseguenti unicamente a variazioni di temperatura, potranno essere contenute solo nell'ipotesi di un accurato controllo dei carichi sensibili). Un sistema interamente passivo può essere convenientemente utilizzato anche per controllare le oscillazioni annuali del valore dell'umidità relativa interna rispetto al valore medio annuale nell'aria esterna (Lombardi e Casetta, 1991); in questo caso però, si richiedono notevoli quantità di sostanza igroscopica che va sostituita e rigenerata periodicamente. Nella Tabella 3.1 si riportano alcune tipologie dei sistemi descritti.

Tabella 3.1 - Sistemi attivi e passivi per il controllo delle condizioni igrometriche e dei contaminanti nelle teche espositive

Componente e funzione svolta	Tipo di controllo
Controllo di frontiera mediante involucro ad elevata tenuta	Passivo
Umidificazione/deumidificazione dell'aria mediante sostanze adsorbenti o assorbenti	Passivo
Controllo di frontiera mediante pressurizzazione dell'involucro	Attivo
Umidificazione/deumidificazione dell'aria mediante evaporatori/condensatori	Attivo
Filtrazione dei contaminanti (particolato, contaminanti gassosi, contaminanti biologici)	Attivo
Cattura/ trasformazione dei contaminanti	Passivo

3.3.1.1 Stabilizzatori di umidità: i materiali igroscopici

Le caratteristiche comuni ai materiali igroscopici usati come stabilizzatori di umidità relativa sono l'elevata capacità di assorbire e cedere vapore acqueo, quando messi a contatto con l'aria ambiente, la capacità di reagire ai cambiamenti di umidità relativa dell'aria più rapidamente dei materiali di cui sono composti gli oggetti da conservare. Infatti, come già accennato, nel momento in cui nella vetrina il valore di umidità relativa aumenta o diminuisce, i materiali igroscopici in essa presenti guadagnano o perdono in contenuto d'acqua compensando tali variazioni. Ovviamente, tutto ciò dipende dalla quantità di materiale igroscopico contenuto all'interno della vetrina, dalle sue caratteristiche e dalla capacità di tampone igrometrico della vetrina stessa, intesa come capacità della vetrina di sottrarre o fornire vapore all'aria interna. In definitiva, l'effetto dell'uso di questi materiali è il rallentamento e lo smorzamento delle fluttuazioni giornaliere di umidità relativa all'interno della vetrina rispetto alle variazioni che si hanno nell'ambiente, come mostrato in Figura 3.1.

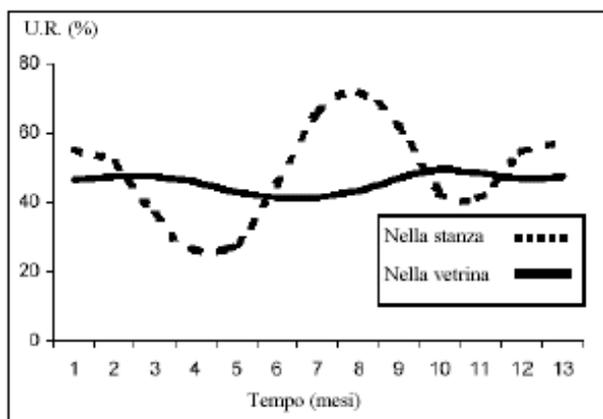


Figura 3.1 - Andamento dell'umidità relativa in funzione del tempo all'interno e all'esterno della vetrina. Da (Weintraub, 2002)

Il silicagel

Le sostanze più utilizzate sono essenzialmente i materiali igroscopici inorganici, che sono in grado di attrarre e di legare, anche se debolmente, molecole d'acqua sulla loro superficie; tra essi, il più comunemente usato è il gel di silice, anche detto silica gel.

Il gel di silice viene ottenuto mescolando del silicato di sodio con un acido minerale forte: si ottiene così un idrogel che viene successivamente sminuzzato, lavato per liberarlo da elettroliti ed asciugato; la concentrazione di silice, la temperatura dell'idrosol e tutti i trattamenti successivi hanno un marcato effetto sulle proprietà finali del gel quali la densità, l'area superficiale ed il volume dei pori. Il gel di silice si presenta come un prodotto granulare non cristallino, incolore, chimicamente e biologicamente inerte, non deliquescente, stabile dal punto di vista dimensionale; risponde con grande prontezza a variazioni di umidità relativa in un ampio campo di valori di quest'ultima, raggiungendo la saturazione solo al di sopra dell'80 % di umidità relativa. Alcuni tipi sono muniti di indicatori del contenuto in umidità, quali il cloruro di cobalto, che li fanno apparire azzurro-viola in condizioni secche e, attraverso sfumature successive, di colore rosa pallido quando sono saturi.

L'unica controindicazione all'uso del silicagel è che esso crepita se posto a contatto diretto con acqua e durante i travasi si può spargere nell'aria polveri di silice, per cui se ne consiglia una manipolazione attenta.

Alla base del comportamento del silica gel, così come per tutti i materiali igroscopici, è il concetto di contenuto di umidità all'equilibrio o Equilibrium Moisture Content (EMC) definito come il contenuto di umidità, ad equilibrio raggiunto, ad un fissato grado igrometrico e a temperatura costante. Infatti, il tenore d'acqua o di umidità nei materiali igroscopici dipende essenzialmente dalla temperatura e dall'umidità relativa dell'aria circostante; ciò significa che un cambiamento di questi parametri comporta una variazione del loro contenuto in acqua fino al raggiungimento di nuove condizioni di equilibrio con l'ambiente. Dimensionalmente l'EMC è indicato come la massa di acqua (in grammi) guadagnata o persa dal materiale igroscopico in rapporto alla sua massa "secca" (in grammi) e si esprime in percentuale. In generale, ad ogni valore dell'umidità relativa dell'aria corrisponde, ad equilibrio raggiunto e a temperatura costante, un unico valore dell'EMC;

Determinando i valori di EMC per un intervallo di valori di umidità relativa crescenti, mantenendo costante la temperatura dell'aria, si può ottenere l'isoterma di adsorbimento EMC/U.R., il cui andamento tipico, per diversi materiali, è mostrato in Figura 3.2; viceversa per un intervallo di valori di umidità relativa decrescenti, sempre ad una fissata temperatura, si può ottenere l'isoterma di desorbimento.

Le curve di equilibrio possono essere ottenute utilizzando sia il metodo delle soluzioni saline sature sia una camera climatica; ciò che conta è che il materiale igroscopico si trovi in un ambiente in cui grado igrometrico e temperatura dell'aria siano mantenuti costanti. Il peso del campione di materiale igroscopico varierà fino a stabilizzarsi intorno ad un valore che viene detto

appunto di equilibrio. Una serie di prove di questo tipo è stata eseguita in laboratorio ed i risultati sono riportati nel Capitolo 4.

Per mettere a confronto la capacità di adsorbimento e deadsorbimento dei diversi gel di silice e per determinare quale è il più adatto alle prestazioni richieste, è utile il concetto, introdotto da Thomson (1986), di “capacità tampone specifica”, anche detta specific moisture reservoir, M , definita come la quantità di acqua, espressa in grammi, guadagnata o persa da 1 kg di gel di silice quando l’umidità relativa cambia dell’uno per cento.

Per esempio se 1 kg di gel di silice assorbe 50 g di acqua passando dal 40% al 50% di umidità relativa, si ha:

$$M = (50 \text{ grammi di acqua}) / 10 = 5 \text{ g}$$

un alto valore di M significa una grande capacità di stabilizzare i cambiamenti di U.R. Il valore della capacità tampone specifica, come risulta evidente dall’esame di Figura 3.3, dipende dal punto in cui questa è determinata lungo l’isoterma EMC/U.R., dall’ampiezza dell’intervallo di umidità relativa cui si fa riferimento e dal fatto che essa sia misurata lungo la curva di adsorbimento o quella di deadsorbimento. A proposito di quest’ultimo fattore, per tener conto delle differenze tra i valori di M misurati in fase di adsorbimento e quelli misurati in fase di deadsorbimento, viene utilizzata la capacità tampone specifica compensata, MH , definita come la capacità tampone specifica M ottenuta effettuando ripetuti cicli di adsorbimento e deadsorbimento, entro un intervallo finito di U.R., fino ad ottenere un valore costante. In pratica, ciò è necessario per non trascurare l’effetto isteresi che si ha quando si compie un ciclo completo e per definire la reale capacità tampone del gel di silice.

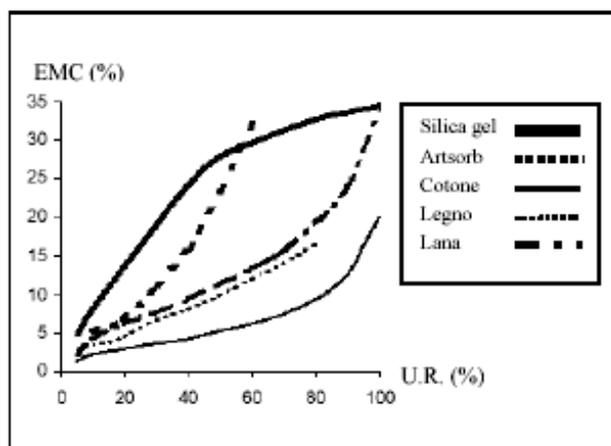


Figura 3.2 - Andamento dell'Equilibrium Moisture Content (EMC) in funzione dell'umidità relativa per diversi materiali a parità di temperatura. Da (Weintraub, 2002)

La capacità dei gel di silice di assorbire o cedere vapore è legata a fattori quali la dimensione della porosità capillare, la densità media dei micropori e l'eventuale inclusione di sali igroscopici, per cui sul mercato è disponibile una vasta gamma di questo prodotto non solo con prestazioni differenti, ma anche con confezionamenti diversi: fogli, cassette, sacchetti e quant'altro; spesso il silica gel è anche venduto preconditionato, vale a dire che è stato già portato all'equilibrio ad un fissato valore del grado igrometrico e che reagirà ad uno scostamento da questo come descritto in precedenza.

Resta da capire perché nei musei si preferisca il gel di silice piuttosto che un materiale igroscopico più economico, come il cotone: la ragione principale è che il silica gel, come mostrato in Figura 3.4, ha una capacità tampone maggiore rispetto ad altri materiali ed una elevata densità di massa, il che comporta il vantaggio che può essere utilizzato in quantità minori, con conseguenti minori problemi di ingombro; inoltre il gel di silice è un materiale inerte e non presenta componenti volatili intrinseci.

C'è da dire che alcuni conservatori hanno espresso la preoccupazione che, qualora si presentino cambiamenti dell'umidità relativa indotti da variazioni di temperatura, la presenza di gel di silice possa incrementare le variazioni del contenuto d'acqua dell'oggetto conservato in vetrina. Questa osservazione è,

in parte, corretta, tuttavia i cambiamenti dell'umidità relativa indotti da variazioni di temperatura sono insignificanti se paragonati al rischio di grandi variazioni dovute agli scambi d'aria con l'esterno, che è poi il motivo per cui si utilizzano queste sostanze.

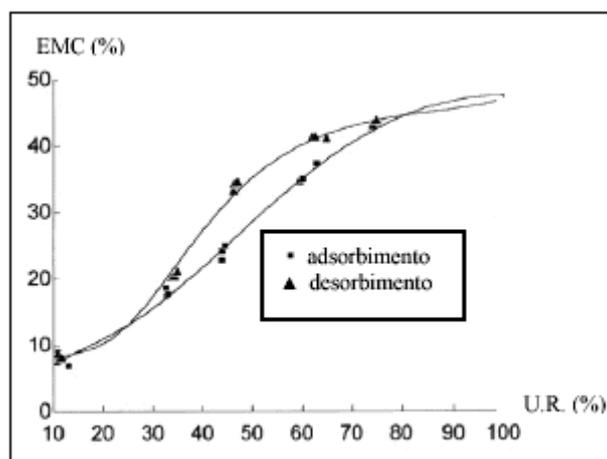


Figura 3.3 - Ciclo d'isteresi per una isoterma EMC/ U.R. di un gel di silice. Da (Yu et al., 2001)

I sali

In passato per stabilizzare o ridurre le fluttuazioni di umidità relativa venivano utilizzati sali solidi idrati e sali in soluzione satura; solo in tempi relativamente recenti si è passati ai materiali igroscopici che risultano essere più pratici e più efficienti (Lombardi e Casetta, 1991) e che presentano le seguenti caratteristiche:

- capacità di assorbire e cedere vapor acqueo quando messi a contatto con l'aria ambiente;
- capacità di reagire ai cambiamenti di umidità relativa dell'aria più rapidamente dei materiali di cui sono composti gli oggetti da conservare.

In presenza di aria umida i sali possono essere soggetti:

- a reazioni chimiche con le molecole d'acqua, assumendo forme idrate diverse (sali solidi idrati);
- ad assorbimento fisico di acqua, con formazione di una soluzione (sali in soluzione satura);

- ad assorbimento di acqua, con ritenzione in superficie di alcune molecole (sali con capacità igroscopica);

generalmente, solo i sali soggetti a quest'ultimo tipo di processo vengono fatti rientrare nella categoria dei materiali igroscopici.

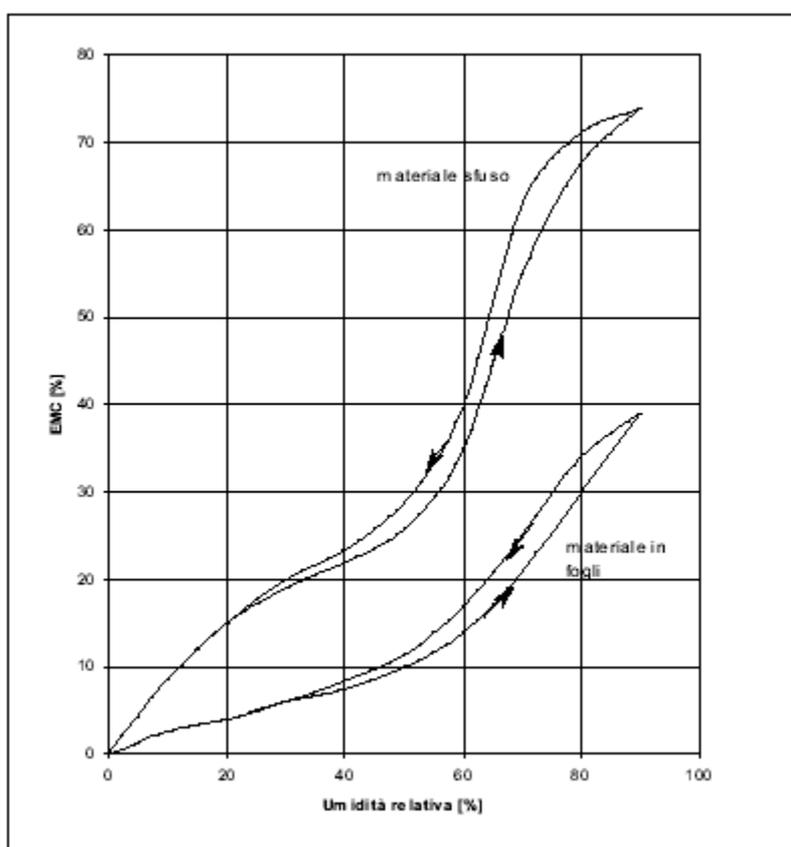


Figura 3.4 - Curva di adsorbimento e deadsorbimento del materiale adsorbente ArtSorb sfuso e in fogli

Le reazioni chimiche che determinano il passaggio da una forma idrata all'altra avvengono quando il sale viene messo a contatto con aria ad un assegnato valore di umidità relativa, caratteristico di ciascun sale e di ciascuna forma di idratazione; forme di idratazione maggiore si hanno ad umidità relative maggiori. Partendo dal sale anidro, per un certo valore di umidità relativa dell'aria, si ha assorbimento di acqua sino a che tutta la massa di sale presente non ha assunto la nuova forma idrata di equilibrio. Ad una umidità relativa

superiore alla precedente ha luogo il fenomeno dell'assorbimento fisico con ulteriore acquisizione di acqua fino alla formazione di una soluzione. L'acquisizione continua sino a che nuovamente tutto il sale presente non è entrato in soluzione, ottenendo una soluzione satura del sale in acqua. Nel periodo intermedio si è in presenza di due fasi: una parte del sale è ancora allo stato solido idrato, l'altra è in soluzione satura.

Partendo dalla soluzione satura processi inversi a quelli sopra descritti hanno luogo a mano a mano che l'umidità relativa dell'ambiente scende.

Le soluzioni saline presentano i seguenti inconvenienti:

- sono liquide e quindi poco maneggevoli;
- una soluzione satura non è un efficiente deumidificatore se non si prevede un costante rimescolamento. Infatti, la diffusione del sale nei liquidi è molto lenta, quindi mentre la diluizione è rapida nello strato superficiale, stenta a estendersi in profondità.

La ricristallizzazione durante la fase di cessione di umidità tende ad avvenire in superficie, a contatto con le pareti del recipiente, ed a spostarsi gradualmente verso l'alto sino a sbordare dal contenitore, ma il problema potrebbe essere superato ricoprendo il contenitore con una membrana permeabile solo al vapore acqueo così come è stato verificato con delle prove eseguite in laboratorio.

Sale solido idrato

Il sale solido idrato è un composto inorganico cristallino e il passaggio da un grado di idratazione all'altro avviene ad un determinato valore dell'umidità relativa, che il sale è in grado di mantenere stabile in ambienti di piccole dimensioni, quali le vetrine museali; infatti, non appena l'umidità relativa dell'aria tende a salire rispetto a tale valore, il sale acquisisce molecole d'acqua per cambiare forma di idratazione con il risultato di contrastare la

crescita dell'umidità relativa stessa. Il fenomeno opposto si manifesta quando l'umidità relativa tende a scendere.

La scelta del tipo di sale è strettamente connessa con il campo di umidità relativa in cui si vuole operare.

Sale in soluzione satura

Come già accennato, il passaggio in soluzione del sale idrato avviene ad un determinato valore dell'umidità relativa caratteristico per ogni sale e variabile con la temperatura; come nel caso del sale solido idrato, tale valore mantenuto stabile dal sale in ambienti di piccole dimensioni. Infatti, appena l'umidità relativa dell'aria tende a salire il sale acquisisce molecole d'acqua cambiando la proporzione tra le due fasi possibili di solido idrato e di soluzione satura. Il fenomeno opposto si manifesta quando l'umidità relativa tende a scendere.

La soluzione satura di un sale si presenta in forma liquida; una soluzione satura di un sale in acqua può essere ottenuta molto semplicemente aggiungendo all'acqua tanto sale quanto basta affinché aggiungendone una ulteriore quantità questa precipiti.

Nelle Tabelle 3.2 e 3.3 sono riportati, rispettivamente, i valori di umidità relativa per un'atmosfera in equilibrio con soluzioni sature di diversi sali (in un campo di temperature compreso tra 10 e 30 °C) e le masse approssimative dei diversi sali da aggiungere ad un litro di acqua per ottenere una soluzione satura a temperatura ambiente.

3.3.2 Aspetti di misura delle prestazioni di tenuta nelle teche espositive

Una volta nota la curva di equilibrio del gel di silice, per poter calcolare l'effettiva quantità di materiale da utilizzare per stabilizzare l'umidità relativa

entro un intervallo prefissato, occorre misurare la tenuta all'aria della vetrina, ovvero il numero di ricambi d'aria nell'unità di tempo. Le tecniche di misura della ventilazione si basano essenzialmente sull'utilizzo di gas traccianti, cioè sulla capacità di marcare l'aria all'interno di un ambiente, anche occupato da persone, mediante un gas dalle opportune caratteristiche, del quale si vanno a rilevare le variazioni di concentrazione man mano che entra aria esterna. La principale limitazione di questi metodi consiste nel fatto che il flusso d'aria e gli inquinanti dipendono sia dall'ambiente in esame sia dalle condizioni termiche al momento dell'esecuzione del test, per cui è difficile fare deduzioni a carattere generale partendo dai risultati di uno specifico test; anche a parità di ambiente, è importante assicurarsi che il gas immesso non sia assorbito dai materiali costituenti l'ambiente di prova e che non si decomponga durante le misure.

Tabella 3.2 - Valori di umidità relativa per un'atmosfera in equilibrio con soluzioni sature di diversi sali. Da (D'Agostino, 2002).

Temperatura (°C)	Umidità Relativa (%)					
	LiCl H ₂ O	MgCl ₂ 6H ₂ O	Na ₂ Cr ₂ O ₇ 2H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	NaCl	Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O
10	13,3	34,2	57,9	57,8	75,2	-
15	12,8	33,9	56,6	56,3	75,3	-
20	12,4	33,6	55,2	54,9	75,5	55,0
25	12,0	33,2	53,8	53,4	75,8	51,0
30	11,8	32,8	52,5	52,0	75,6	-

Un gas tracciante ideale dovrebbe avere una densità simile a quella dell'aria, essere inerte e normalmente non presente nell'atmosfera interna ed in quella esterna, essere facilmente misurabile a basse concentrazioni, non presentare rischi per la sicurezza e la salute degli occupanti e degli operatori; i

gas più utilizzati per le misurazioni sono l'ossido nitroso (N_2O), l'etano (C_2H_6) e l'esafluoruro di zolfo (SF_6); in alcuni casi è possibile utilizzare anche l'anidride carbonica (CO_2), sebbene essa sia presente nell'atmosfera.

Tabella 3.3 - Quantità approssimativa dei diversi sali da aggiungere ad un litro di acqua per ottenere una soluzione satura a temperatura ambiente.

	Nomenclatura	Massa (kg)
$LiCl \cdot H_2O$	Cloruro di litio monoidrato	0,85
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Cloruro di magnesio esaidrato	3,70
$Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$	Dicromato di sodio biidrato	2,90
$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Nitrato di magnesio esaidrato	2,50
$NaCl$	Cloruro di sodio	0,38
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	Nitrato di calcio tetraidrato	6,50

I metodi più utilizzati per la misura della ventilazione all'interno degli ambienti confinati sono quello della concentrazione costante, quello dell'emissione costante ed il metodo del decadimento della concentrazione che sarà descritto in seguito.

Per iniziare si consideri l'equazione di bilancio sul contaminante, particolarizzata per il tracciante:

$$\boxed{\text{Variazione nel tempo della quantità del gas tracciante nell'ambiente}} = \boxed{\text{Quantità di tracciante introdotto nell'ambiente}} - \boxed{\text{Quantità di traccianti usciti dall'ambiente}}$$

$$\frac{dC(\theta)}{d\theta} \cdot V = F_g(\theta) + C_e \cdot F_a(\theta) - C(\theta) \cdot F_a(\theta) \quad (3.1)$$

in cui:

- V = volume di aria nell'ambiente, m^3
- C = concentrazione di gas tracciante nell'aria dell'ambiente, m^3/m^3
- θ = tempo, h
- F_g = portata di immissione del gas tracciante nell'ambiente, m^3/h

C_e = concentrazione del gas tracciante nell'aria esterna, m^3/m^3

F_a = flusso d'aria attraverso l'ambiente, m^3/h .

nella quale sono state trascurate le differenze di densità dell'aria tra l'interno e l'esterno dell'ambiente, il che ha consentito di scrivere il classico bilancio di materia in termini di portate volumetriche anziché di portate massiche.

Tale equazione può essere anche scritta nel modo seguente:

$$\frac{dC(\theta)}{d\theta} = \frac{F_g(\theta)}{V} + \frac{C_e \cdot F_a(\theta)}{V} - \frac{C(\theta) \cdot F_a(\theta)}{V} \quad (3.2)$$

dalla quale si può determinare il numero di ricambi d'aria, N , in 1/h, definito come il flusso d'aria diviso per l'effettivo volume, V , dell'ambiente di prova:

$$N = \frac{F_a}{V} \quad (3.3)$$

3.3.2.1 *Metodo del decadimento della concentrazione di un gas tracciante*

E' il metodo più usato per la misura del numero di ricambi d'aria. Il gas tracciante viene iniettato in un punto specifico all'interno dell'ambiente confinato da esaminare, fino a che non viene raggiunta una particolare concentrazione; a questo punto la sorgente viene rimossa ed inizia la misura del decadimento della concentrazione del tracciante nel tempo. Va sottolineato che, per garantire che la concentrazione del tracciante nell'ambiente sia sempre uniforme, viene utilizzato un sistema meccanico di mescolamento.

Dall'equazione (3.2), nell'ipotesi di regime permanente, si ricava che il valore della concentrazione del tracciante nell'aria all'interno dell'ambiente sarà costante; infatti, supponendo costanti nel tempo i valori della portata di ventilazione, F_a , della concentrazione del gas tracciante nell'aria esterna, C_e , e della portata di immissione del gas tracciante nell'ambiente, F_g , deve essere

$dC(\theta)/d\theta = 0$. Ne consegue che la (3.2) diventa un'equazione differenziale a coefficienti costanti non omogenea, la cui soluzione¹ è la seguente:

$$C(\theta) = C_e + \frac{F_g}{V \cdot N} + \frac{C_0 - C_e - \frac{F_g}{V \cdot N}}{V \cdot N} \cdot e^{-(N \cdot \theta)} \quad (3.4)$$

con:

$C(\theta)$ = concentrazione del gas tracciante nell'aria esterna, %;

C_e = concentrazione del gas tracciante nell'aria esterna, %;

F_g = portata di immissione del gas tracciante nell'ambiente, m³/h;

V = volume, m³;

N = numero di ricambi d'aria, h⁻¹;

C_0 = concentrazione del gas tracciante all'istante iniziale delle misura con il metodo del decadimento del gas tracciante, %.

¹ Dalle (2) e (3) si ha:

$$dC(\theta)/d\theta + N \cdot C(\theta) = F_g(\theta)/V + N \cdot C_e \quad (a)$$

la cui omogenea associata è:

(segue)

(continua)

$$dC(\theta)/d\theta + N \cdot C(\theta) = 0$$

l'equazione caratteristica è:

$$\lambda + N = 0 \Rightarrow \lambda = -N$$

l'integrale generale dell'omogenea associata è:

$$C(\theta) = k \cdot e^{-(N \cdot \theta)}$$

L'integrale particolare si determina imponendo nella (a) $dC(\theta)/d\theta = 0$ per cui:

$$C(\theta) = F_g/(V \cdot N) + C_e$$

la soluzione della (a) è allora:

$$C(\theta) = F_g/(V \cdot N) + C_e + k \cdot e^{-(N \cdot \theta)} \quad (b)$$

imponendo la condizione iniziale $C(\theta)|_{\theta=0} = C_0$ si ha

$$k = (C_0 - C_e - F_g/(V \cdot N))$$

da cui sostituendo nella (b) si ha la (4).

che ci permette di conoscere l'andamento nel tempo della concentrazione del gas tracciante e di individuare le grandezze fisiche da cui questa dipende.

Supponiamo ora di voler utilizzare come tracciante l'anidride carbonica. Tale scelta è dovuta non solo al semplice utilizzo di tale gas, ma soprattutto della facilità di reperimento di misuratori portatili di CO₂ alimentati a batterie. Infatti, nell'applicazione di questo metodo, un problema è costituito dal fatto che nelle vetrine normalmente presenti nei musei generalmente non c'è una presa di corrente, per cui il dispositivo di rilevamento del gas deve avere alimentazione autonoma; tale necessità è ancora più stringente quando si ha a che fare con vetrine di vecchia generazione o con un contenitore che è esso stesso un oggetto museale: in questi casi, e sono ancora la maggioranza, non vi sono fori passacavi o accessi per i collegamenti ad uno strumento esterno.

Particolarizzando la (3.4) per l'istante $\theta = 0$ in cui termina l'immissione di gas tracciante si ha la funzione:

$$C(\theta) = C_e + (C_0 - C_e) \cdot e^{-(N \cdot \theta)} \quad (3.5)$$

che ha, qualitativamente, l'andamento dell'esponenziale $e^{-N\theta}$ traslato di C_e e scalato del termine $(C_0 - C_e)$, ponendo $C(\theta) - C_e = C^*(\theta)$ e $C_0 - C_e = C_0^*$ si ha:

$$C^*(\theta) = (C_0^*) \cdot e^{-(N \cdot \theta)} \quad (3.6)$$

e, passando ai logaritmi:

$$\ln(C_0^*) - \ln C^*(\theta) = N\theta \quad (3.7)$$

da cui, in definitiva:

$$N = [\ln(C_0^*) - \ln C^*(\theta)] / \theta \quad (3.8)$$

Si noti che nella realtà, evidentemente, l'andamento nel tempo della concentrazione di CO₂ non segue perfettamente la legge di decadimento esponenziale; ciò a causa delle fluttuazioni del flusso d'aria attraverso la vetrina, che nel modello è imposto costante mentre in condizioni tipiche di utilizzo non lo è affatto e, quindi, nel passare ai logaritmi non si ottiene una linea retta. È comunque possibile determinare il numero dei ricambi d'aria applicando sempre la (3.8) ma calcolando la regressione lineare della curva $(\ln(C_0) - \ln C(\theta))$, il cui coefficiente angolare è proprio N.

Nel Capitolo 4 sono riportati i risultati in forma grafica di prove di tenuta all'aria eseguite su vetrine in uso presso il Museo Archeologico Nazionale di Paestum.

Un aspetto fondamentale da sottolineare è che il metodo del decadimento (così come ogni altro procedimento basato sui gas traccianti) fornisce una misura della ventilazione in relazione a ben determinate condizioni al contorno (ambientali e di funzionamento). Si dovrebbe quindi specificare che queste prove forniscono risultati che tengono conto complessivamente dei fenomeni diffusivi e convettivi in gioco (o moto d'insieme), è quindi più corretto parlare di tenuta in termini globali di “capacità di tenuta ai gas” (Michalski, 1994). Si osserva, inoltre, che le tecniche con gas traccianti sono le uniche prove utilizzabili per valutare qual è la portata d'aria di ventilazione effettiva, in opera, di una vetrina inserita nel contesto museale.

4. PROVE EFFETTUATE

A partire da febbraio 2004 sono state effettuate delle misurazioni, in ambiente ed in vetrina e queste ultime sia in campo che in laboratorio, che vengono illustrate e discusse nel seguito.

4.1 PROVE EFFETTUATE IN LABORATORIO

In laboratorio sono state effettuate prove su una vetrina; tali prove hanno avuto sostanzialmente lo scopo di mettere a punto una metodologia facilmente utilizzabile in campo per verificare la tenuta che, come si è visto, è una delle caratteristiche principali di una vetrina e che normalmente viene verificata con apparecchiature non facilmente trasportabili. Si è inoltre indagato sulle caratteristiche fisiche dei silicagel.

4.1.1 Prove di tenuta su vetrina esistente

Sono state le prime prove effettuate e hanno permesso di testare la metodologia.

4.1.1.1 Descrizione della prova

La vetrina utilizzata per le prove è una bacheca in metallo con un'unica superficie vetrata, il cui volume interno, pari al volume espositivo è di circa 1 m³, e che normalmente è destinata alla esposizione di libri; è stata scelta volutamente tra quelle non a tenuta per ottenere risultati il più possibile

tamente tra quelle non a tenuta per ottenere risultati il più possibile simili a quelli che si avrebbero per una classica vetrina museale, spesso caratterizzata da elevati scambi d'aria con l'esterno.

Come gas tracciante è stata usata l'anidride carbonica, ottenuta per sublimazione di un frammento di "ghiaccio secco".

Lo strumento utilizzato per la misura del gas tracciante ha un sensore del tipo NDIR (Non-Dispersive InfraRed), il cui funzionamento si basa sull'assorbimento della luce infrarossa da parte delle molecole di anidride carbonica. Lo strumento, che misura anche la temperatura e l'umidità relativa dell'aria e che ha un range di misura di 0÷5000 ppm ed una risoluzione di 1 ppm, permette di registrare fino a 48.000 dati (con intervalli di un minuto); prima di ogni prova, lo strumento è stato sottoposto alla calibrazione di zero (usando azoto) e di span (usando una concentrazione nota di gas tracciante in azoto).

Come prima operazione, è stata misurata la concentrazione di anidride carbonica presente nella vetrina, che è ovviamente pari a quella proveniente dall'aria esterna, C_e , assicurandosi che tale valore si mantenesse costante. Al termine di questa operazione, sono stati inseriti nel volume espositivo una piccola quantità di ghiaccio secco, tale comunque da ottenere una concentrazione in aria superiore alla sensibilità dello strumento ed un piccolo ventilatore, alimentato a batteria, per assicurare l'uniformità della concentrazione del gas tracciante; a sublimazione terminata, lo strumento fornisce valori sempre minori della concentrazione di anidride carbonica in conseguenza del decadimento dovuto agli scambi d'aria con l'esterno.

4.1.1.2 Risultati della prova

I risultati della prova su vetrina esistente, che è durata circa 3 ore durante le quali sono state effettuate 177 misure di concentrazione (una al minuto),

sono sintetizzati nel grafico in Figura 4.1. Si noti che la temperatura registrata per l'intera durata della prova non ha subito variazioni significative, per cui è stato possibile trascurare un'eventuale variazione della pressione interna, e che non sono stati considerati i valori relativi alle fasi iniziale e finale della prova, che possono essere influenzati dalle operazioni di inserimento e asportazione degli strumenti.

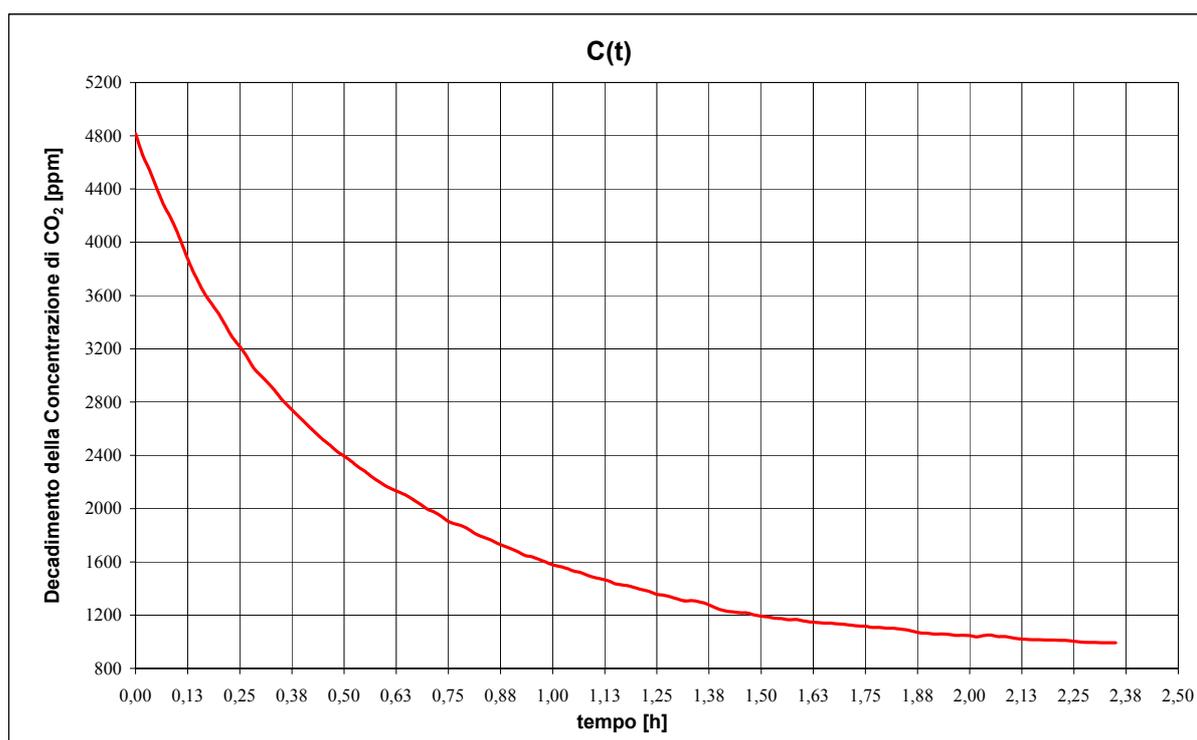


Figura 4.1 - Andamento della concentrazione di CO₂, C(t), nel corso della prova effettuata in una vetrina normalmente destinata all'esposizione di libri.

Dalle misure effettuate nella vetrina è risultato:

$$C_e = 780 \text{ ppm}$$

$$C_0 = 4816 \text{ ppm}$$

Usando un'equazione della regressione lineare del tipo:

$$y = ax + b$$

si ottiene:

$$y = -1,245x - 0,276$$

e quindi essendo il numero di ricambi d'aria, N, che è il coefficiente angolare

di tale retta, risulta, come mostrato in Figura 4.2:

$$N = 1,245$$

che corrisponde a circa 30 ricambi d'aria giornalieri.

L'elevato valore ottenuto era assolutamente prevedibile e previsto, sia per le caratteristiche della vetrina, che presenta fessure e giunti poco a tenuta visibili ad occhio nudo, sia per le condizioni ambientali in cui si è effettuata la prova, caratterizzate dalla presenza di forti correnti d'aria che hanno facilitati gli scambi interno-esterno.

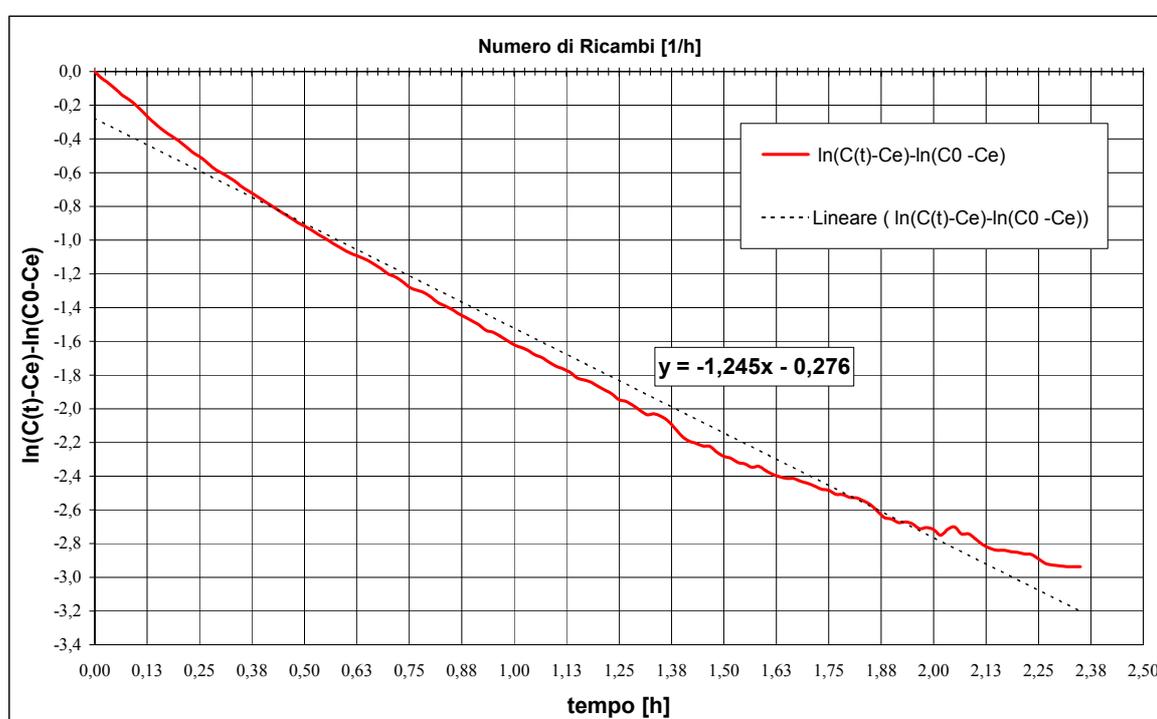


Figura 4.2 - Curva espressione della differenza dei logaritmi e sua linea di tendenza per il calcolo di N come coefficiente angolare di tale retta.

4.1.2 Prove attualmente in corso

Attualmente sono in corso prove su una vetrina realizzata ad hoc e opportunamente strumentata.

4.1.2.1 Descrizione della apparecchiatura strumentata

L'apparecchiatura è costituita da una camera cubica, mostrata in Figura 4.3, realizzata con lastre di polimetilmetacrilato (plexiglass) dello spessore di 10,0 mm, avente un volume interno di 0,216 m³. Cinque delle sei facce della camera sono tra loro solidali, mentre la sesta, quella superiore, può essere rimossa per consentire sia l'accesso all'interno che per essere sostituita con lastra di altro materiale. Su una delle facce laterali sono presenti tre fori passanti dotati, verso l'esterno della camera, di portagomma che, all'occorrenza, possono essere sigillati; la stessa faccia è inoltre corredata di due coppie di contatti elettrici tra l'interno della camera e l'esterno.

Il dispositivo di prova così realizzato consente di posizionare sensori di misura e apparecchiature ancillari all'interno della camera e di collegarli a dispositivi di registrazione posti all'esterno.

4.1.2.2 Descrizione delle prove

Sono in corso misure di tenuta utilizzando come gas tracciante contemporaneamente esafluoruro di zolfo (SF₆) ed anidride carbonica (CO₂). Prima di avviare la prova di decadimento sono state effettuate prove di pressurizzazione della camera, al fine di determinare la presenza e la posizione di eventuali punti a bassa tenuta sul contorno della vetrina. Inoltre, essendo il polimetilmetacrilato un materiale a bassa permeabilità ai gas, è possibile escludere che esistano fenomeni diffusivi attraverso l'involucro e si può affermare che in questo caso è solo la tenuta all'aria della vetrina a determinare i fenomeni di trasporto convettivo.

La misura della concentrazione di ciascun gas all'interno della camera di prova è effettuata mediante un opportuno analizzatore multi-gas, mentre quella della concentrazione di anidride carbonica all'esterno della camera di prova è effettuata dallo strumento descritto in precedenza.



Figura 4.3 - Camera realizzata per la prova di tenuta all'aria.

4.1.2.3 Risultati delle prove

In circa una settimana di prova non sono state rilevate sensibili diminuzioni della concentrazione di entrambi i traccianti, per cui si può ritenere che l'apparecchiatura sia caratterizzata da una "buona tenuta". Prove successive saranno effettuate sulla stessa apparecchiatura sostituendo la lastra superiore in plexiglass con una lastra in MDF (Medium Density Fiberboard) ed una in legno.

4.1.3 Curve di adsorbimento e deadsorbimento del silicagel

Queste prove sono state effettuate allo scopo di fornire al conservatore un metodo facile che permetta, date le caratteristiche del silicagel e il valore di umidità relativa richiesto in vetrina, di conoscere la quantità di silicagel da utilizzare ed il tempo oltre il quale questo va ricondizionato.

4.1.3.1 Descrizione della prova

Per le prove sono stati usati 2 tipi di silicagel, caratterizzati da granulometria diversa, contenuti in sei Beaker; con opportune operazioni di pesatura, si è ricavato per ogni contenitore sia il peso totale che quello netto di gel. I provini sono stati poi posti in stufa a 100 °C per portare il gel in condizioni secche, ovvero teoricamente a UR = 0%.

Dopo 24 ore i provini sono stati messi per 5 minuti in un essiccatore allo scopo di raffreddarli, ripesati e posti in un essiccatore con una soluzione saturata di MgCl₂, che garantisce un'umidità relativa del 33%, come mostrato in Tabella 4.1 (d'Ambrosio Alfano et al., 2005); la temperatura ambiente era di circa 25 °C. I provini sono stati ulteriormente pesati fino al raggiungimento di valori costanti, quindi sono stati spostati in un essiccatore ad umidità relativa maggiore; il procedimento si è iterato fino al raggiungimento del peso di equilibrio in corrispondenza di un'umidità relativa del 90 %. Analogo procedimento è stato effettuato per la fase di deadsorbimento portando i provini dal 90 % di umidità relativa alla condizione iniziale di gel secco.

Tabella 4.1 – Soluti utilizzati nella preparazione delle soluzioni saline sature. Nella terza colonna è riportato il valore dell'umidità relativa dell'aria all'equilibrio con la soluzione.

Nome	Formula	U.R.
Cloruro di litio	LiCl	0,11
Cloruro di magnesio	MgCl ₂	0,33
Carbonato di potassio	K ₂ CO ₃	0,43
Nitrato di magnesio	Mg(NO ₃) ₂	0,54
Ioduro di potassio	KI	0,69
Cloruro di sodio	NaCl	0,75

Si riportano in Figura 4.4 e in Figura 4.5 i risultati in forma grafica ottenuti per il provino denominato SG-0,2-1 nella fase di adsorbimento e deadsorbimento al 33 % di umidità relativa.

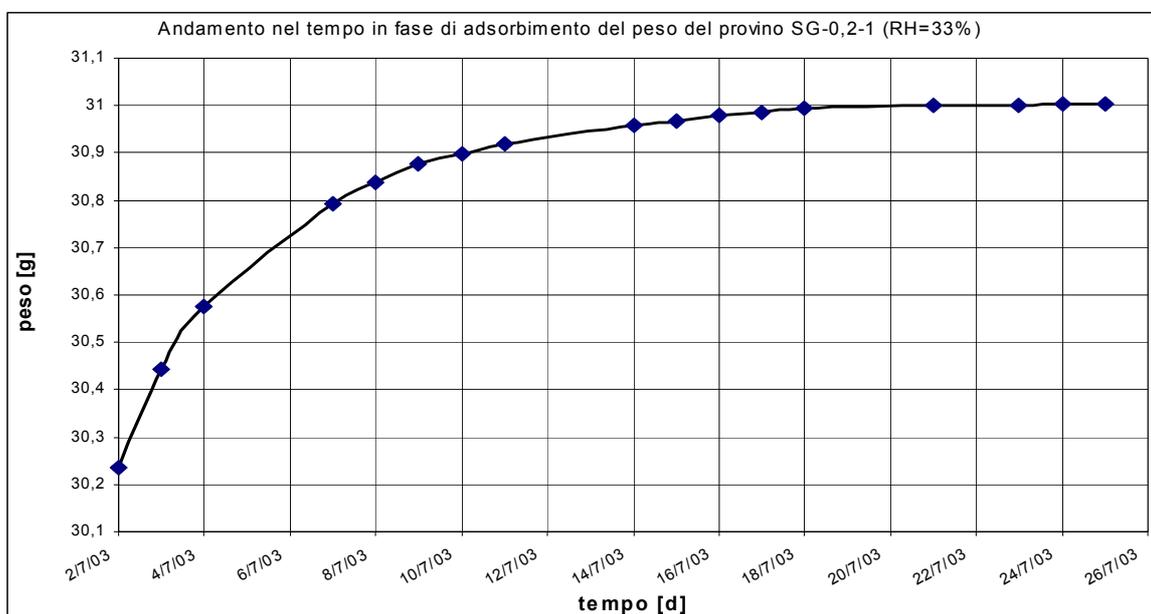


Figura 4.4 - Curva di adsorbimento per il provino SG-0,2-1 con UR = 33%.

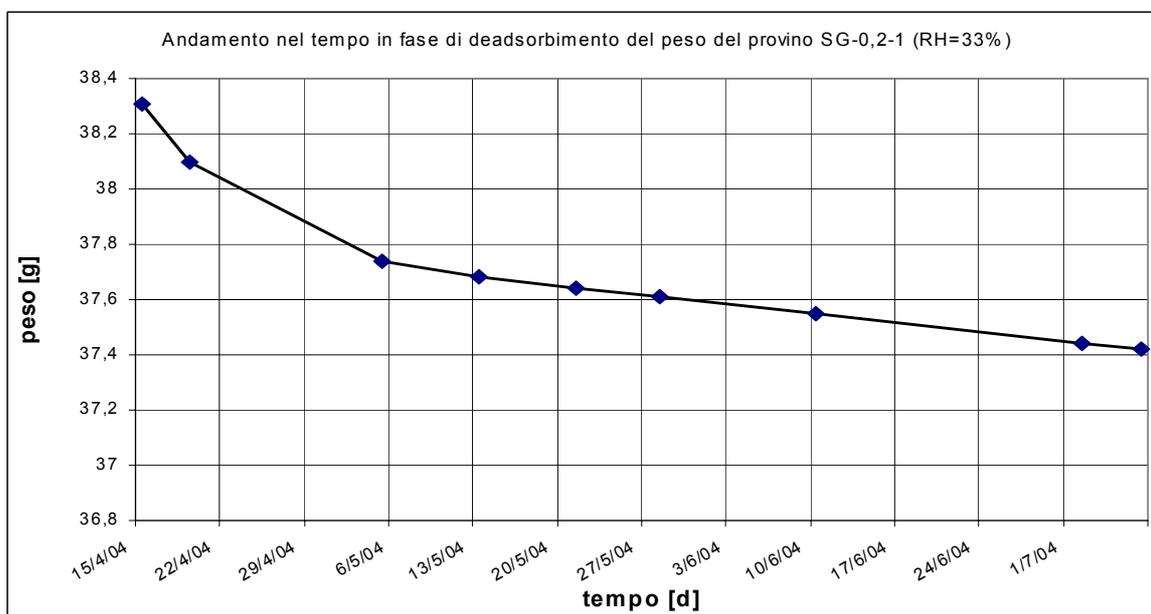


Figura 4.5 - Curva di deadsorbimento per il provino SG-0,2-1 con UR = 33%.

4.1.4 Ricristallizzazione di un sale in soluzione satura sulle pareti del contenitore

Spesso, durante la fase di cessione di umidità, si verifica il fenomeno della ricristallizzazione del sale sulla superficie a contatto con le pareti del recipiente, che può portare alla fuoriuscita dal contenitore. Ovviamente, tale fenomeno è del tutto indesiderato.

4.1.4.1 Descrizione della prova

Allo scopo di verificare il fenomeno descritto in condizioni di umidità relativa dell'ambiente circostante certamente inferiore al valore di equilibrio per la soluzione è stata preparata una soluzione satura di cloruro di sodio¹, NaCl , che è stata inserita in 3 contenitori Beaker, ciascuno contenente 50 ml di soluzione e coperto con carta filtro avente elevate caratteristiche di permeabilità.

Il Valore di Umidità Relativa per una atmosfera in equilibrio con la soluzione satura di NaCl varia tra il 75,2 % ed il 75,8 % per temperature dai 10 ai 30 °C.

4.1.4.2 Risultati della prova

La ricristallizzazione, mostrata nelle Figure 4.6 e 4.7, è avvenuta su uno dei tre contenitori, nel quale è evidente la presenza con uno strato di sale lungo la parete interna del contenitore fino allo sbordamento. La tempistica della prova è riportata in Tabella 4.2.

¹ La quantità di cloruro di sodio da aggiungere ad un litro di acqua per ottenere una soluzione satura a temperatura ambiente è di circa 380 g ma ai nostri fini non è stato necessario pesare la quantità di sale necessario per ottenere la soluzione satura alla temperatura ambiente.

Tabella 4.2 - Risultati della prova di ricristallizzazione di un sale

Beaker	Livello (ml)	Presenza di sale sulle pareti del contenitore
RISULTATI IN DATA 27/02/03		
1	50	no
2	50	no
3	50	no
RISULTATI IN DATA 03/03/03		
1	50	no
2	50	no
3	50	no
RISULTATI IN DATA 20/05/03		
1	50	no
2	50	Si con fuoriuscita e sbordamento
3	50	no



Figura 4.6 - Ricristallizzazione del sale nel Beaker



Figura 4.7 - Ricristallizzazione del sale nel Beaker

4.2 PROVE EFFETTUATE IN CAMPO NEL MUSEO ARCHEOLOGICO NAZIONALE DI NAPOLI

A Napoli sono state effettuate prove di tenuta su una bacheca in legno, vetro ed elementi in metallo, con un volume di circa 0.67 m^3 , contenente manufatti in argento, come mostrato in Figura 4.8.

4.2.1.1 Descrizione della prova

Il procedimento seguito è quello descritto analogo al punto 4.1.1.1

4.2.1.2 Risultati della prova

Dalle misure effettuate, durate circa 5 ore con un numero di registrazioni pari a 267, è risultato:

$$C_e = 644 \text{ ppm}$$

$$C_0 = 4999 \text{ ppm}$$

L'equazione della regressione lineare utilizzata è del tipo:

$$y = ax + b$$

per cui:

$$y = -0,0018x - 0,0044$$

e N risulta essere:

$$N = 0,108$$

ovvero circa 2,6 ricambi d'aria giornalieri, come risulta dalla Figura 4.9.

Si fa presente che la prova è stata effettuata in un giorno di chiusura al pubblico, in assenza di impianti di riscaldamento e di eventuali correnti d'aria.



Figura 4.8 - Vetrina degli argenti al Museo Archeologico Nazionale di Napoli

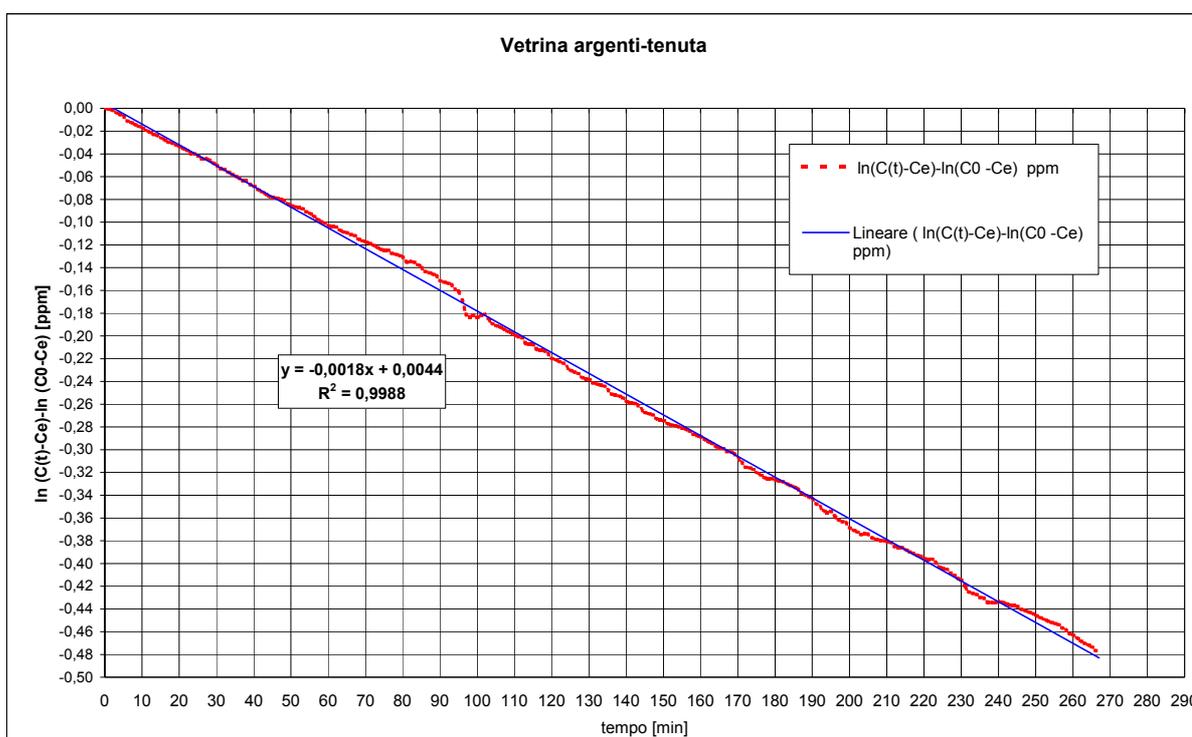


Figura 4.9 - Risultati della prova di tenuta sulla vetrina del Museo Archeologico Nazionale di Napoli

4.3 PROVE EFFETTUATE IN CAMPO NEL MUSEO ARCHEOLOGICO NAZIONALE DI PAESTUM

A Paestum sono state effettuate, con la collaborazione e l'assistenza della Direzione del Museo, prove in ambiente ed in vetrina.

4.3.1 Il Museo Archeologico Nazionale di Paestum

Costruito fra gli anni quaranta e cinquanta presso l'area archeologica, l'edificio museale fu inaugurato nel 1952 allo scopo di ospitare il ciclo scultoreo dell'Heraeion del Sele, all'epoca sistemato nell'antiquarium del palazzo De Maria. Un ulteriore ampliamento fu effettuato nel 1970, per poter ospitare gli affreschi delle tombe dipinte trovati due anni prima. A seguito di un periodo di chiusura, durante il quale è stato compiuto un ampliamento degli spazi espositivi, nel 1999 il museo è stato riaperto con un nuovo settore dedicato al materiale epoca romana (dopo il 273 a.C.), mentre è stato deciso di esporre materiali meno rilevanti a rotazione, allo scopo di proporre tematiche e oggetti che rischiano di rimanere nei depositi. Attualmente il percorso si snoda su due piani dell'edificio con sezioni ordinate topograficamente (metope del tempio e tombe dipinte) e cronologicamente (materiale votivo e funerario dai templi e dalla necropoli).

4.3.2 Le collezioni oggetto dell'indagine

Il corredo di bronzi del sacello ipogeo

Il sacello è situato presso il Tempio di Atena, al centro di un “témenos” (recinto) arcaico costeggiato dalla Via Sacra; è un “cenotafio” a forma di tomba a camera, con copertura a doppio spiovente sormontata da un tetto in tegole piane e con l’accesso a piano inclinato scavato nella roccia, che fu usato una sola volta per deporvi il ricco corredo, ora ospitato in una vetrina del Museo in cui sono state effettuate le prove, e subito dopo murato dall’esterno. Nel sacello-*heroon* fu rinvenuto il più importante nucleo di oggetti bronzei della città costituito dalle sei *hydriai* e dalle due anfore di bronzo contenenti miele e un’anfora attica. Le anfore non sono decorate e solo la più piccola ha i manici che terminano a forma di mano; una ricca decorazione plastica caratterizza invece le anse delle *hydriai*: teste femminili dalle lunghe trecce, fiancheggiate da arieti sdraiati, leoni che afferrano l’orlo del vaso, sfingi accosciate e teste di cavallo. Uno splendido leone a tutto tondo, ritto sulle zampe posteriori, funge da manico verticale dell’*hydria* più bella ed originale del gruppo. La loro attribuzione a uno o più centri di produzione dell’Italia Meridionale è tutt’ora molto discussa; come spesso accade nelle tombe, i vasi metallici sono in parte anteriori al loro seppellimento, avvenuto intorno al 510 a.C.

La tomba del Tuffatore

La tomba del Tuffatore è composta da lastre di calcare che formano i fianchi e il coperchio, e presentano una ricca decorazione pittorica; la pittura più famosa è quella che orna la lastra di copertura con la figura di un giovane nudo che si tuffa nelle acque di un fiume, mostrata in Figura 4.10.

4.3.2.1 Prove di tenuta in vetrine

Sono state esaminate due vetrine, ambedue in vetro e metallo; una, con un volume di circa 4 m³, contiene oggetti in bronzo e terrecotte, è mostrata in Figura 4.11; l’altra, di volume pari a circa 1 m³, contiene una statua in marmo.

Descrizione delle prove

Il procedimento seguito è quello descritto analogo al punto 4.1.1.1



Figura 4.10 - Particolare di una delle lastre laterali lunghe della tomba del Tuffatore a Paestum,

Risultati delle prove

Dalle misure effettuate sulla vetrina con bronzi e terrecotte, durata circa tre ore con un numero di misure pari a 147, è risultato:

$$C_e = 488 \text{ ppm}$$

$$C_0 = 6000 \text{ ppm}$$

L'equazione della regressione lineare utilizzata è del tipo:

$$y = ax + b$$

da cui:

$$y = -0,9501x - 0,6311$$

quindi, essendo N il coefficiente angolare della retta, si ha:

$$N = 0,9501$$

ovvero circa 23 ricambi d'aria giornalieri, come mostrato in Figura 4.12.



Figura 4.11 - Particolari della vetrina del sacello con la strumentazione per il monitoraggio dei parametri ambientali e la misura di tenuta.



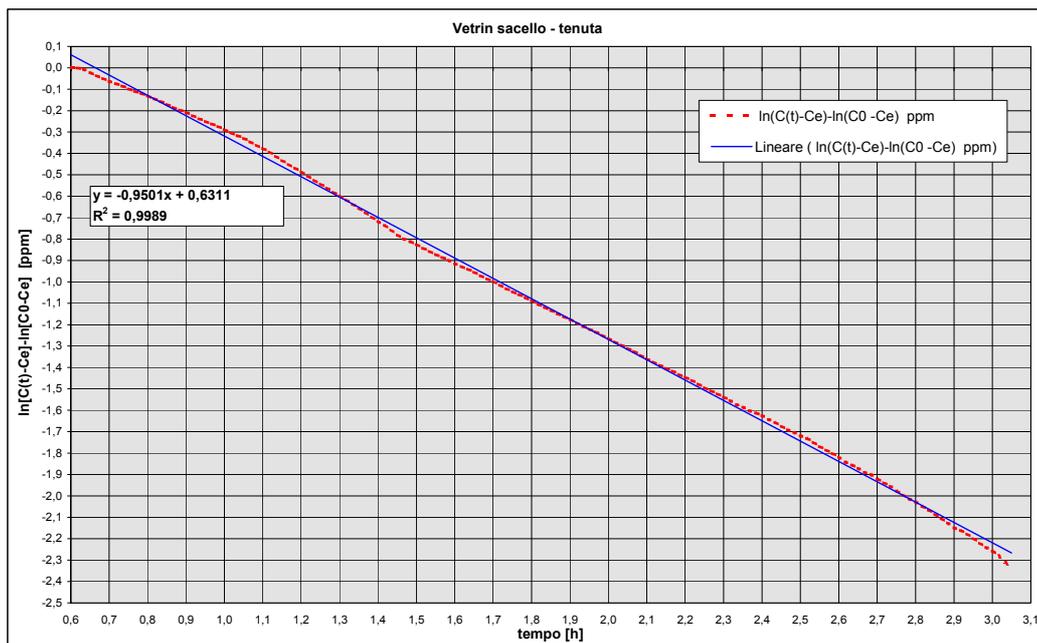


Figura 4.12 - Risultati della prova di tenuta sulla vetrina del sacello del Museo Archeologico Nazionale di Paestum

Dalle misure effettuate nella vetrina, mostrata in Figura 4.13, durate circa 3 ore, contenente la statua di marmo è risultato:

$$C_e = 488 \text{ ppm}$$

$$C_0 = 6000 \text{ ppm}$$

L'equazione della regressione lineare utilizzata è del tipo:

$$y = ax + b$$

da cui:

$$y = -0,5762x - 0,6311$$

quindi, essendo N il coefficiente angolare di tale retta, si ha:

$$N = 0,5762 \text{ [1/h]}$$

ovvero circa 14 ricambi d'aria giornalieri, come mostrato in Figura 4.14.



Figura 4.13 - Vetrina con statua in marmo

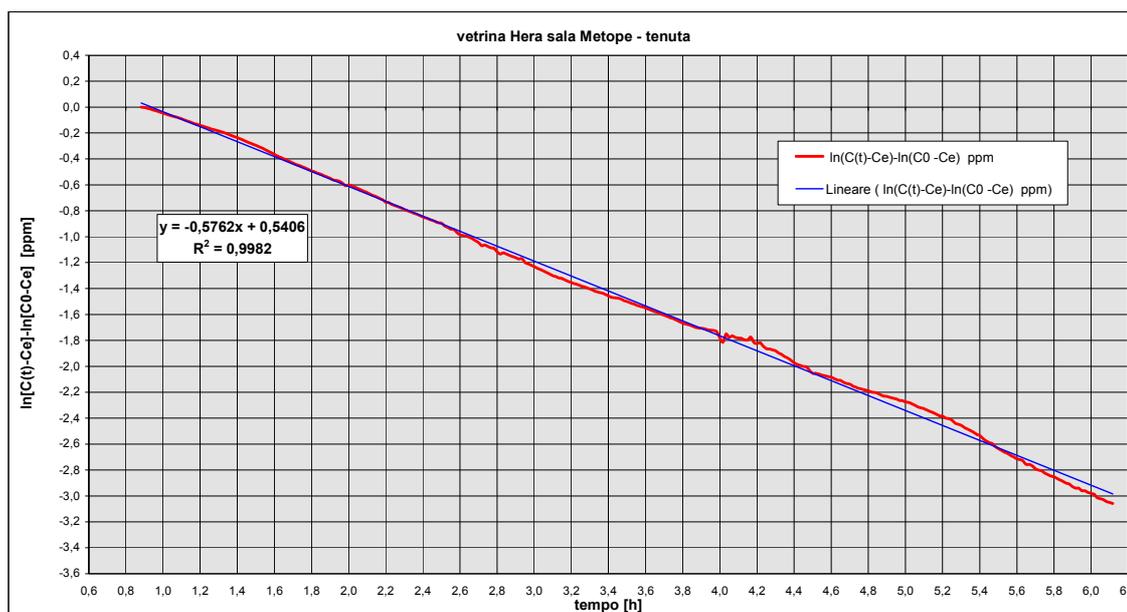


Figura 4.14 - Risultati della prova di tenuta sulla vetrina del sacello del Museo Archeologico Nazionale di Paestum

4.3.2.2 Monitoraggio ambientale

Le misure sono state effettuate da giugno a settembre 2005, contemporaneamente all'esterno e all'interno del museo, in vetrina e nella sala museale in cui la vetrina si trova.

Il periodo di misura è stato prescelto basandosi su valutazioni dell'andamento climatico degli ultimi anni delle zone del Cilento e sul fatto che l'ubicazione del sito museale, serrato tra il mare e le colline, comporta una grande affluenza di visitatori in questo periodo da cui discende una situazione di maggiore criticità per la conservazione delle opere contenute nel museo.

Descrizione delle prove

Il monitoraggio è stato eseguito con datalogger per la misurazione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria e dell'illuminamento con una accuratezza per la temperatura e l'umidità relativa rispettivamente di $\pm 0,2$ °C e di $\pm 2\%$.

Come accennato, per tener conto delle relazioni, dell'incidenza e della variabilità tra le grandezze termoigrometriche dell'ambiente esterno e del macro e micro ambiente espositivo, il posizionamento dei sensori ha interessato, ovviamente, anche l'esterno dell'edificio museale. La scelta della collocazione degli strumenti di misura negli ambienti interni è stata effettuata cercando di rispettare l'allestimento espositivo, evitando zone con fenomeni di stratificazione dell'aria o stagnazione e nel contempo sistemando gli strumenti in zone non facilmente accessibili al pubblico per evitare cause perturbanti accidentali. Inoltre, essendo il complesso museale piuttosto esteso, costituito da più corpi edificati in periodi successivi, per tener conto dell'incidenza delle caratteristiche geometriche e termofisiche dell'involucro edilizio sono stati individuati quattro macroambienti (sale), caratterizzati da esposizione e architettura

differenti e, in corrispondenza, quattro microambienti (vetrine espositive), con caratteristiche non simili e contenenti opere con un diverse esigenze conservative.

Analisi dei parametri rilevati.

Analizzando dettagliatamente ogni specifico parametro risulta possibile estrapolare considerazioni tecnico/funzionali finalizzate al miglioramento delle condizioni microclimatiche degli ambienti espositivi.

Considerazioni generali

Dall'analisi dei dati registrati, riportati di seguito in forma grafica, si nota come le condizioni termoigrometriche dell'aria negli ambienti interni siano influenzate da quelle esterne; in particolare, gli andamenti delle variabili termoigrometriche all'interno delle sale seguono con un certo ritardo quelli esterni all'edificio. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che attraverso le pareti dell'involucro edilizio, sottoposte a sollecitazioni termiche variabili nel tempo, si genera un flusso termico la cui entità dipende, ovviamente, dallo spessore e dalle caratteristiche termofisiche delle pareti stesse. Questo ritardo temporale è marcatamente visibile nell'andamento delle ore notturne, nel quale si evidenzia come i valori della temperatura si mantengano costantemente elevati.

Per quanto riguarda la temperatura, dall'analisi dei grafici giornalieri, si ha conferma di come la zona dell'edificio in cui sono esposte le hydriae (oggetti in bronzo), essendo di costruzione molto antecedente rispetto alle altre zone del complesso, sia caratterizzata da una maggiore inerzia termica; non sono riscontrabili, infatti, rilevanti fluttuazioni termiche, almeno nelle ore notturne. Resta comunque il fatto che la temperatura rilevata dai sensori all'interno dei locali ha raggiunto e superato, nella quasi totalità dei casi, i livelli consigliati dalla Norma 10829 del 1999. L'abbattimento dei valori di

temperatura nelle ore mattutine, cioè quelle immediatamente successive all'apertura del museo, è molto probabilmente imputabile all'accensione dei sistemi di climatizzazione e ventilazione meccanica ove presenti, o a ventilazione naturale dovuta all'apertura dei numerosi componenti finestrati da parte del personale addetto.

Per quanto riguarda l'umidità relativa, l'inerzia igrica della struttura offre comunque, anche se in modo meno accentuato rispetto alla temperatura, una protezione degli ambienti rispetto ai cicli giornalieri, anche se ancora una volta i valori hanno raggiunto e superato, nella quasi totalità dei casi, i livelli consigliati dalla Norma 10829. L'andamento dell'umidità relativa si impenna nelle ore serali, a chiusura avvenuta, molto probabilmente a causa dello spegnimento dei sistemi di climatizzazione e della sigillatura degli ambienti.

Nell'ambiente in cui è esposta la "Tomba del Tuffatore" è da notare che per la maggior parte del tempo i valori di umidità relativa riscontrati sono al di sotto del limite minimo consigliato; in particolare, si nota un picco nelle ore di inizio attività, dovuto sicuramente all'apertura dei componenti finestrati dell'ambiente. Infatti, i valori rilevati dal sensore posto in prossimità delle lastre in pietra registrano un incremento dell'umidità dal 54% al 60%, incremento registrato nello stesso periodo (08:50÷08:25) dalla sonda posta all'esterno dell'edificio.

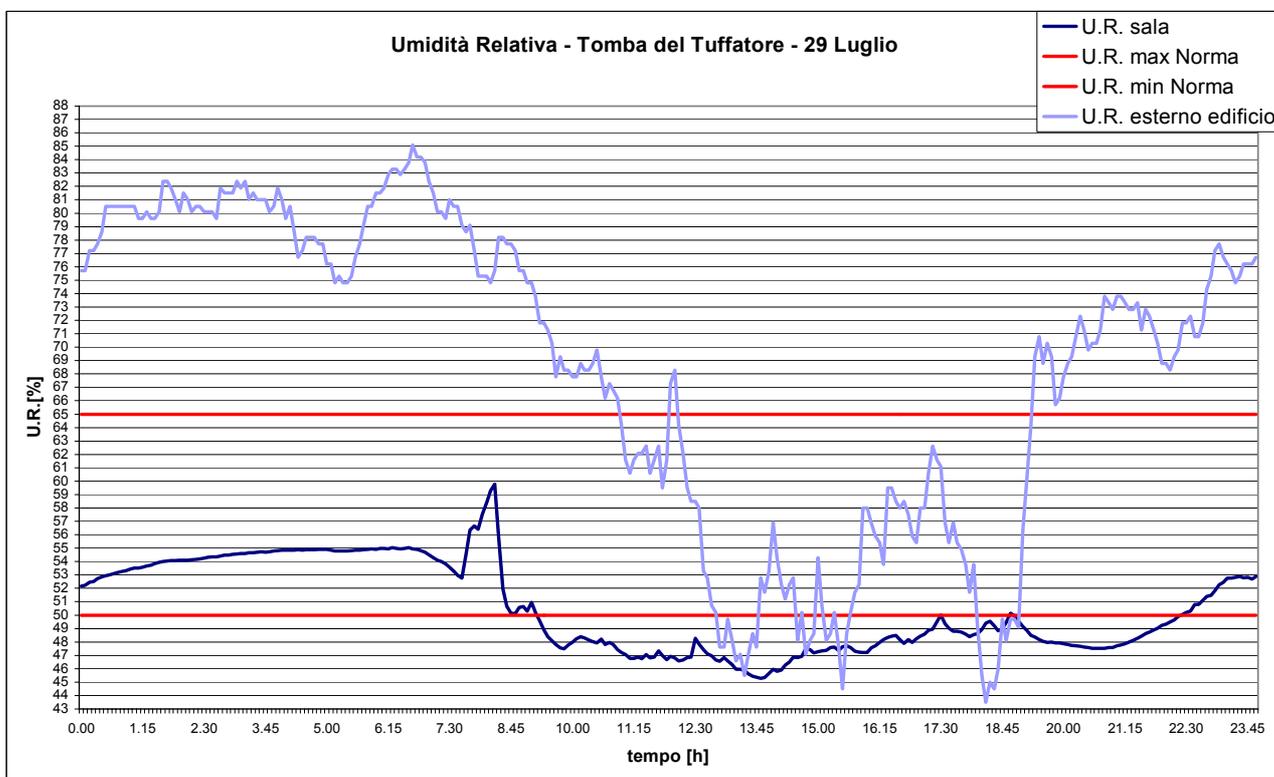
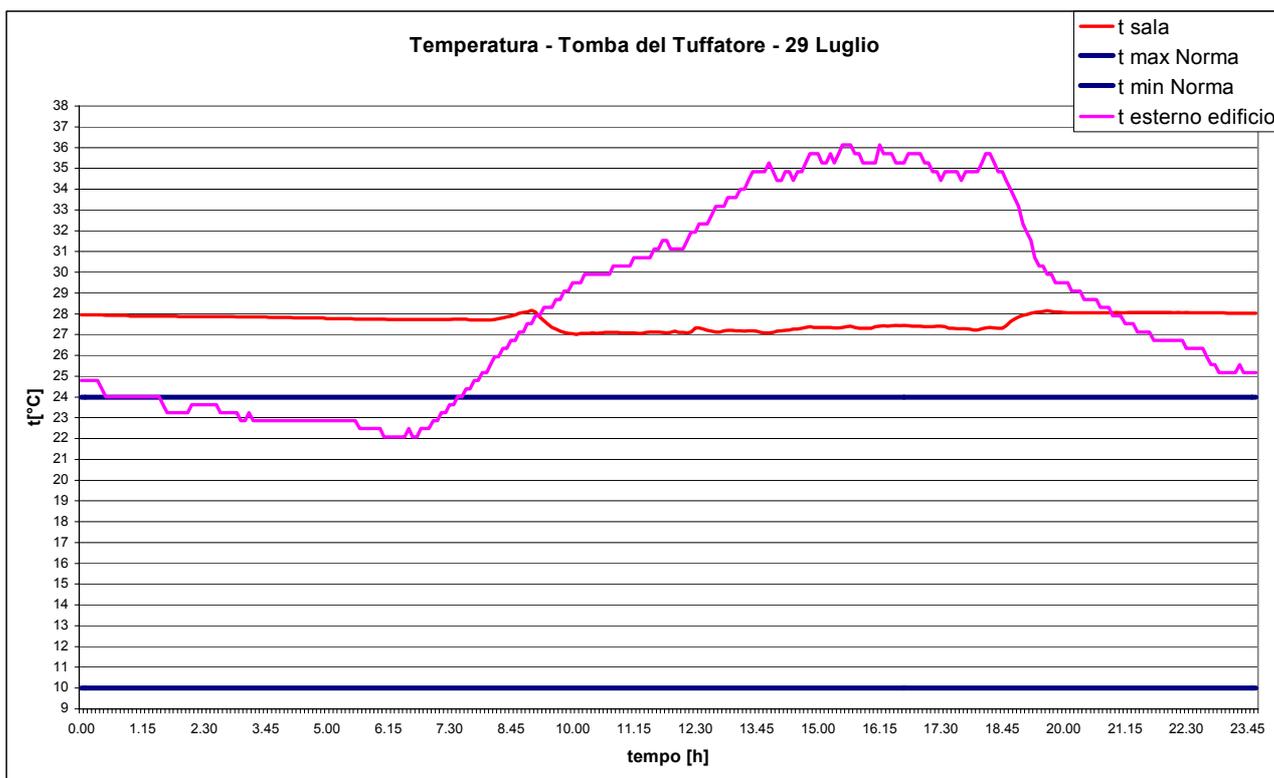
Le fluttuazioni diurne di temperatura e umidità relativa riscontrate sono da imputarsi quasi esclusivamente alla presenza di visitatori; si riscontrano dei picchi nelle ore immediatamente precedenti e successive alle ore del pranzo probabilmente dovute al fatto che il museo offre, per i frequentatori del parco archeologico, un comodo riparo dalla calura estiva. Le fluttuazioni di umidità relativa dovuti a carichi endogeni vanno scemando nel tardo pomeriggio in cui diviene prevalente l'apporto esogeno del carico igrico.

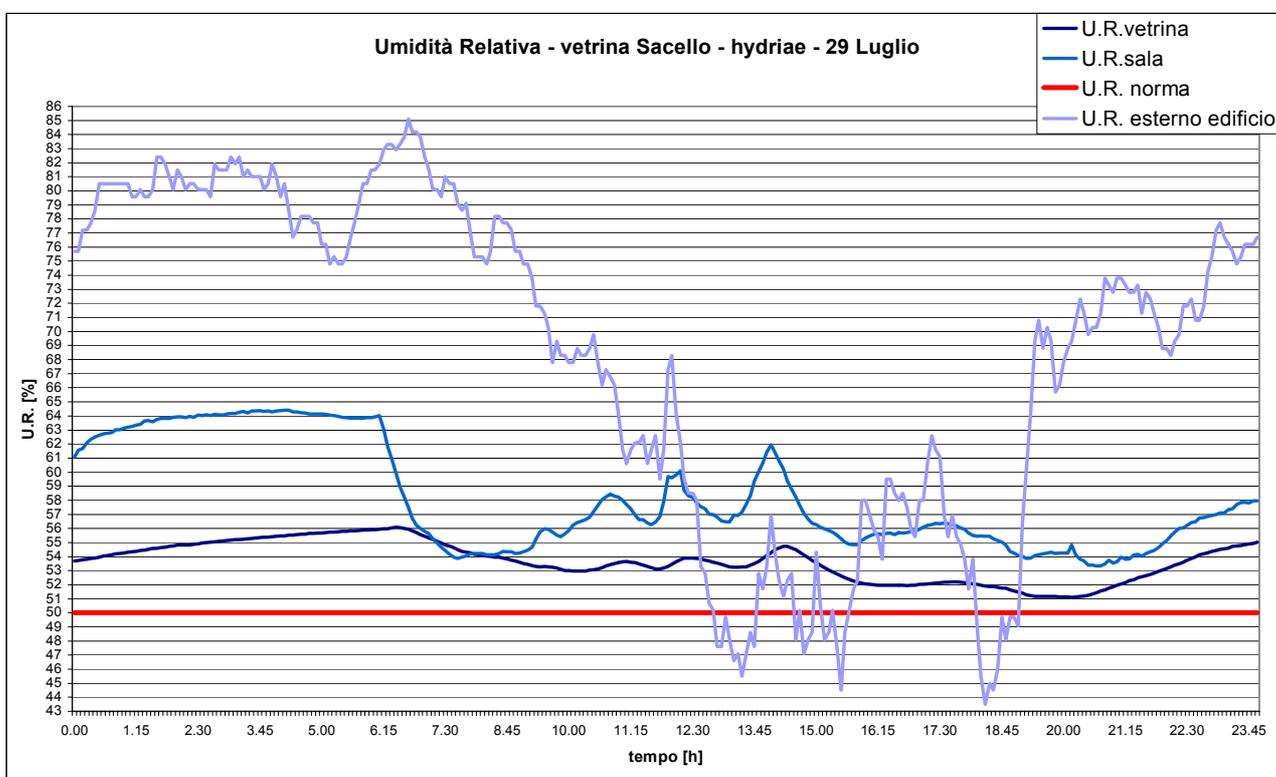
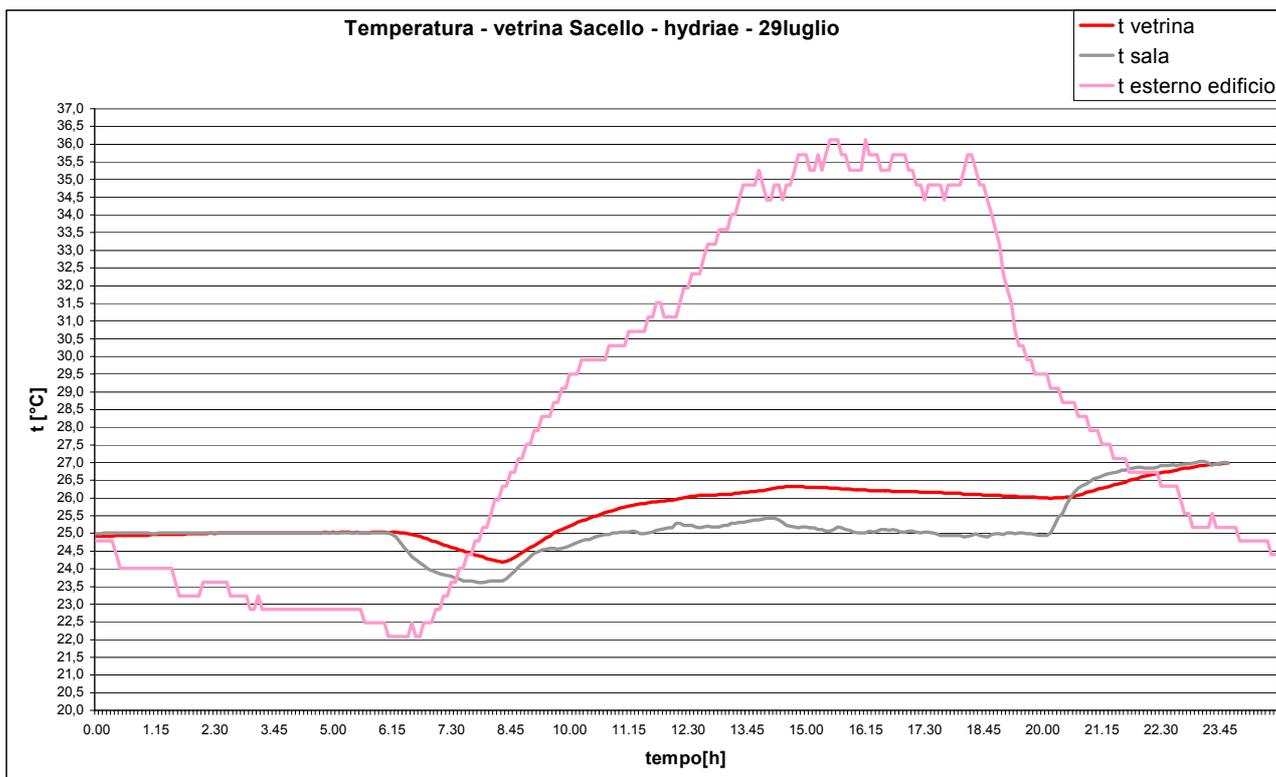
Il profilo della temperatura all'interno delle vetrine risulta fortemente influenzato dal macroambiente, come è possibile vedere dall'andamento dei grafici relativi alla vetrina Sala Metope (con oggetti in osso, avorio e metallo) e alla vetrina monete Sala Romana.

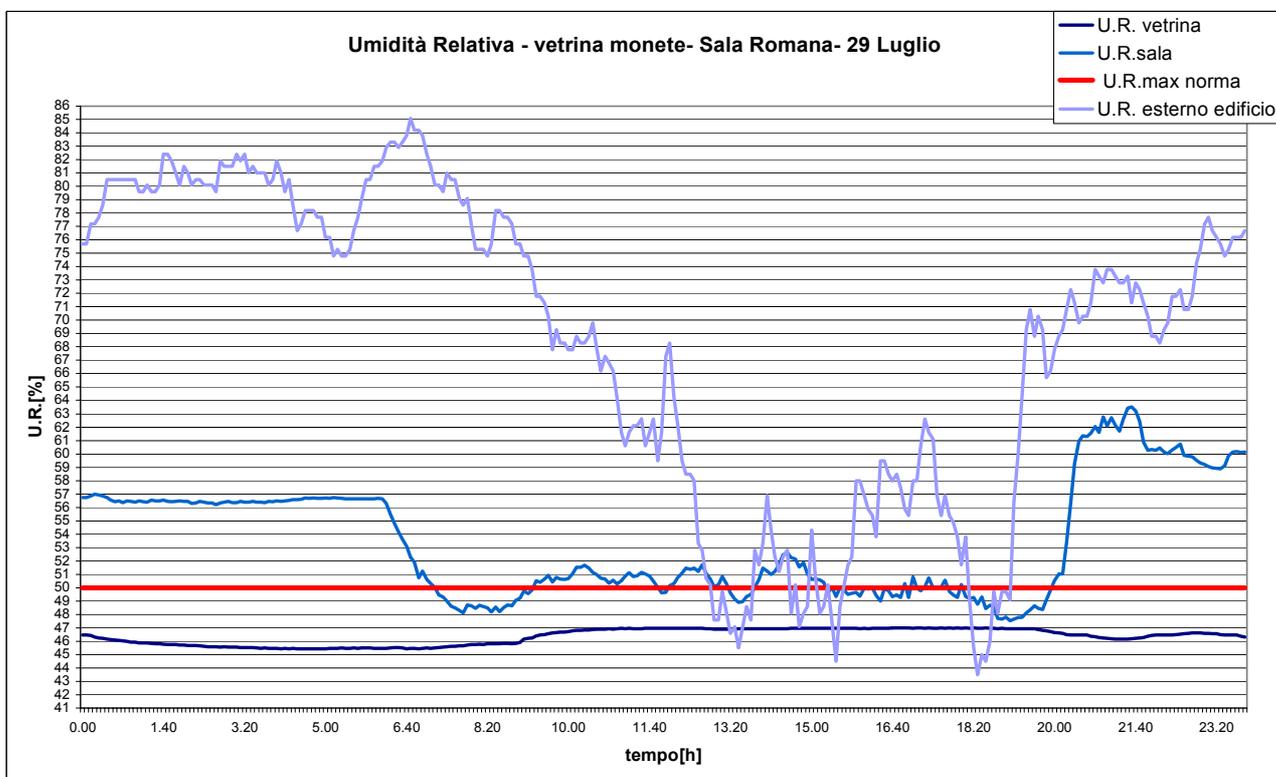
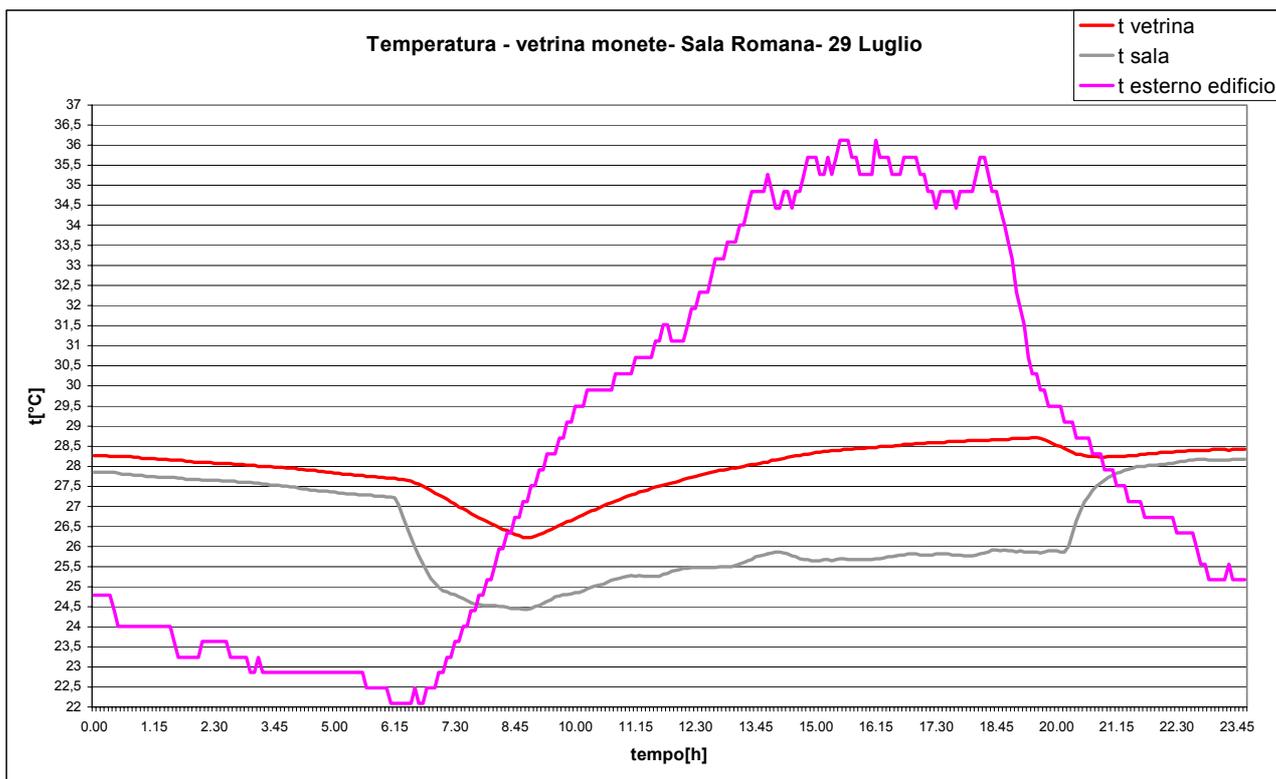
L'involucro edilizio smorza le fluttuazioni orarie esterne, ma nel contempo, la tenuta delle vetrine e la loro ubicazione in corrispondenza di fonti di illuminamento fanno sì che i valori della temperatura siano ben più alti di quelli presenti nella sala nelle ore diurne e presentino la tendenza ad adagiarsi alla curva della temperatura ambiente nelle ore notturne.

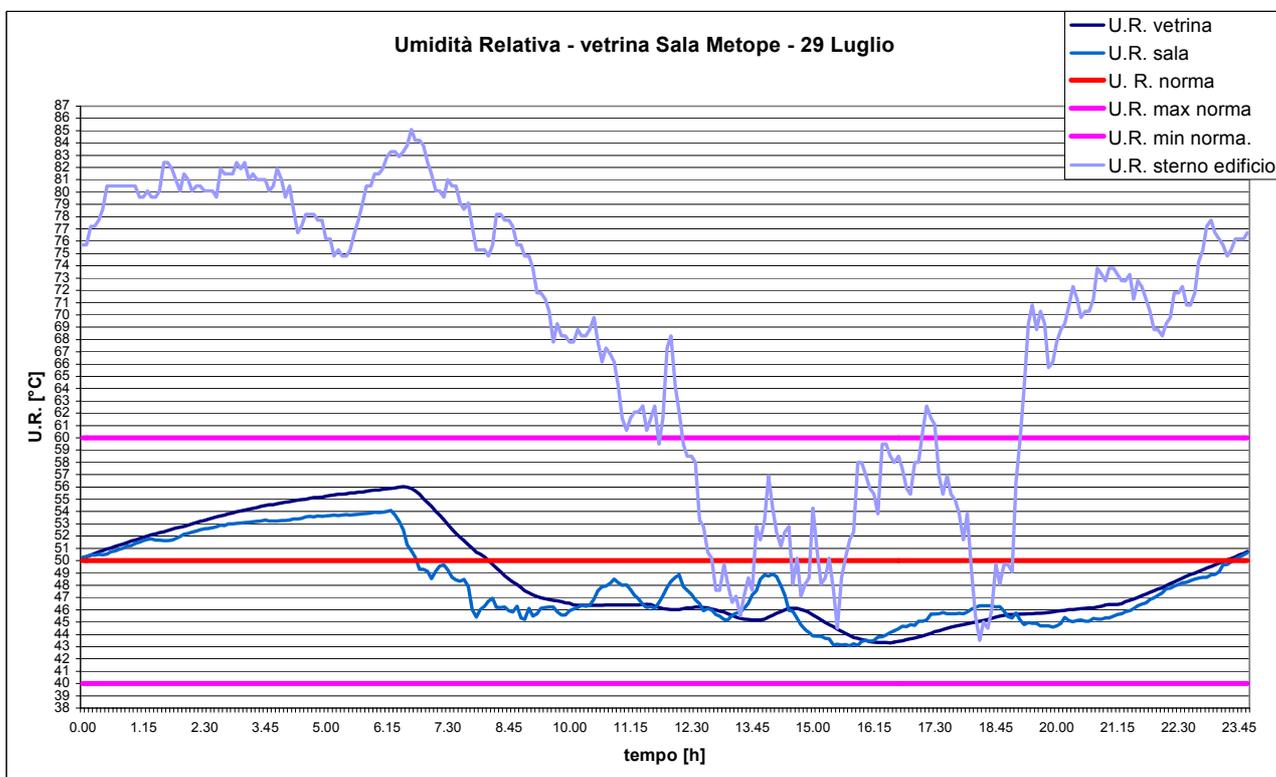
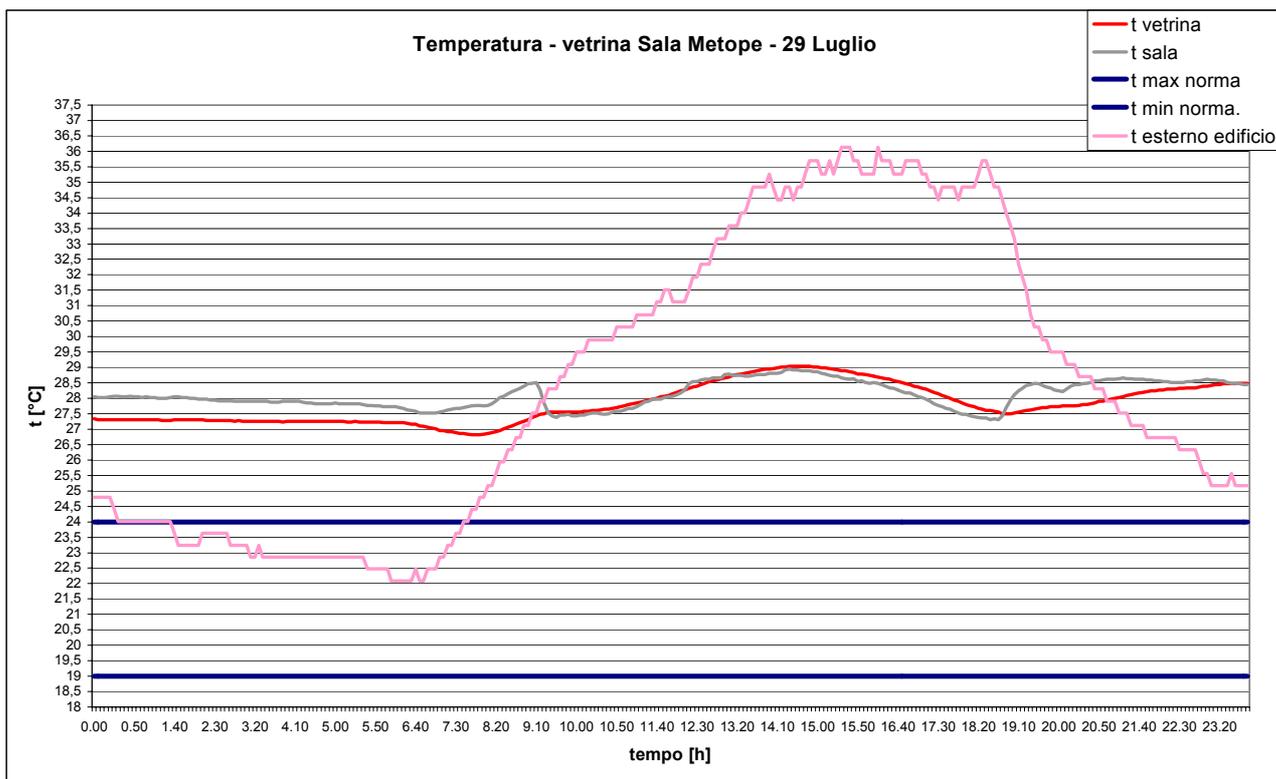
Le vetrine

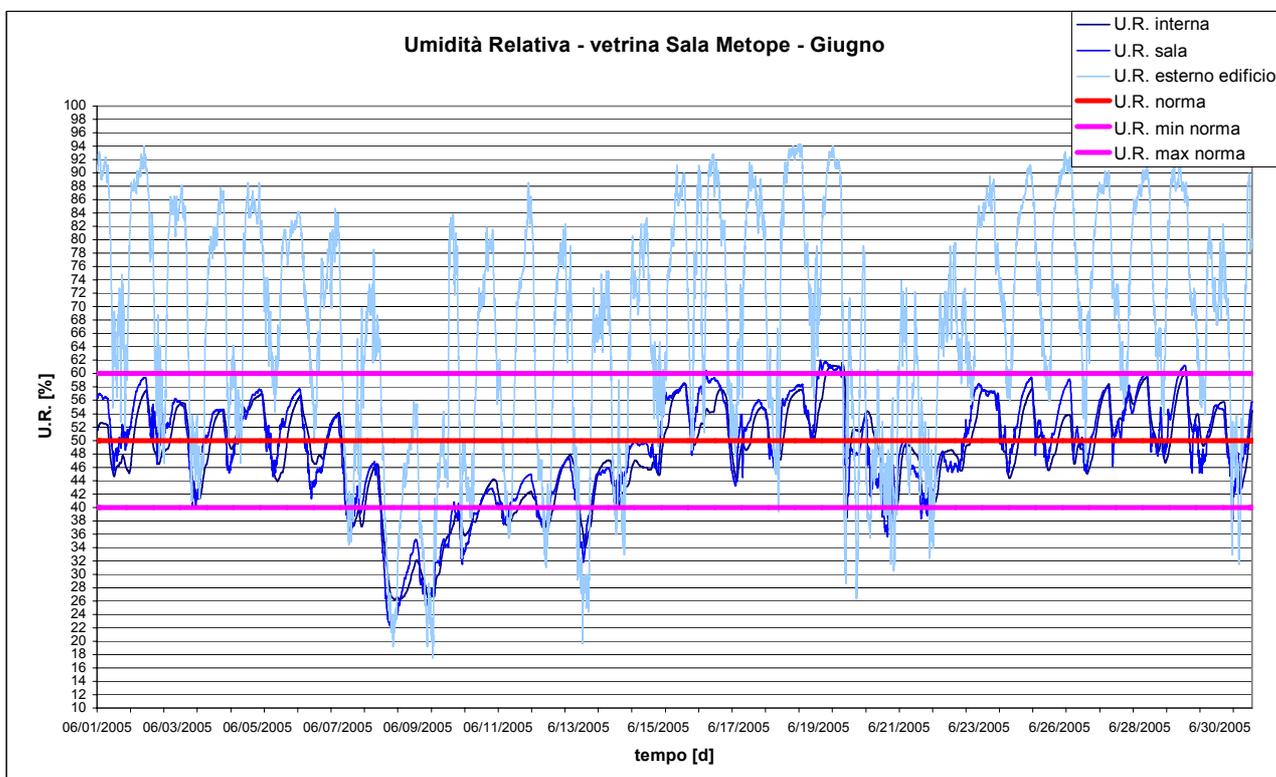
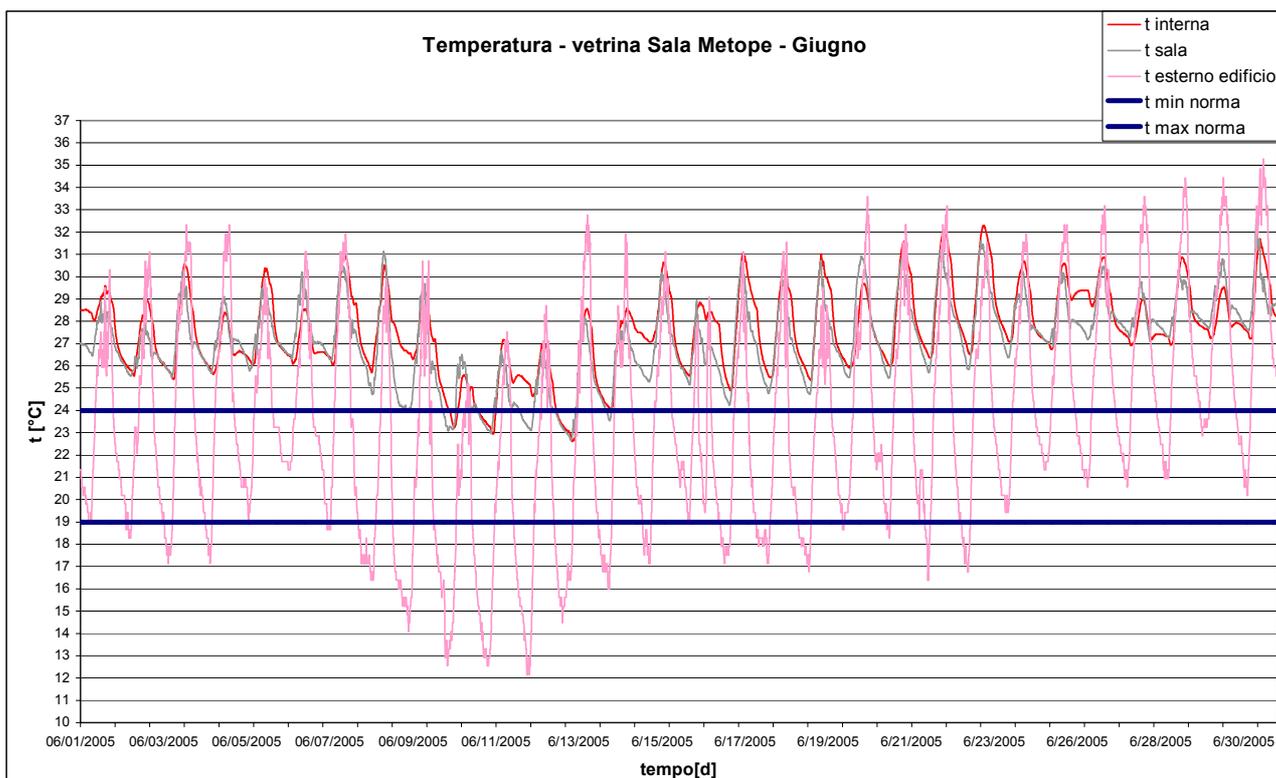
Per quanto riguarda l'umidità relativa, la tenuta delle due vetrine su menzionate fa sì che le fluttuazioni orarie e i valori registrati di questo parametro siano abbastanza contenuti in quelli prescritti. Discorso a parte è da farsi per la vetrina Sacello-hydriae che essendo a scarsa tenuta presenta valori molto al di sopra di quelli consigliati e fluttuazioni più marcate; non a caso, sugli oggetti in essa esposta sono visibili in maniera evidente principi di degrado.

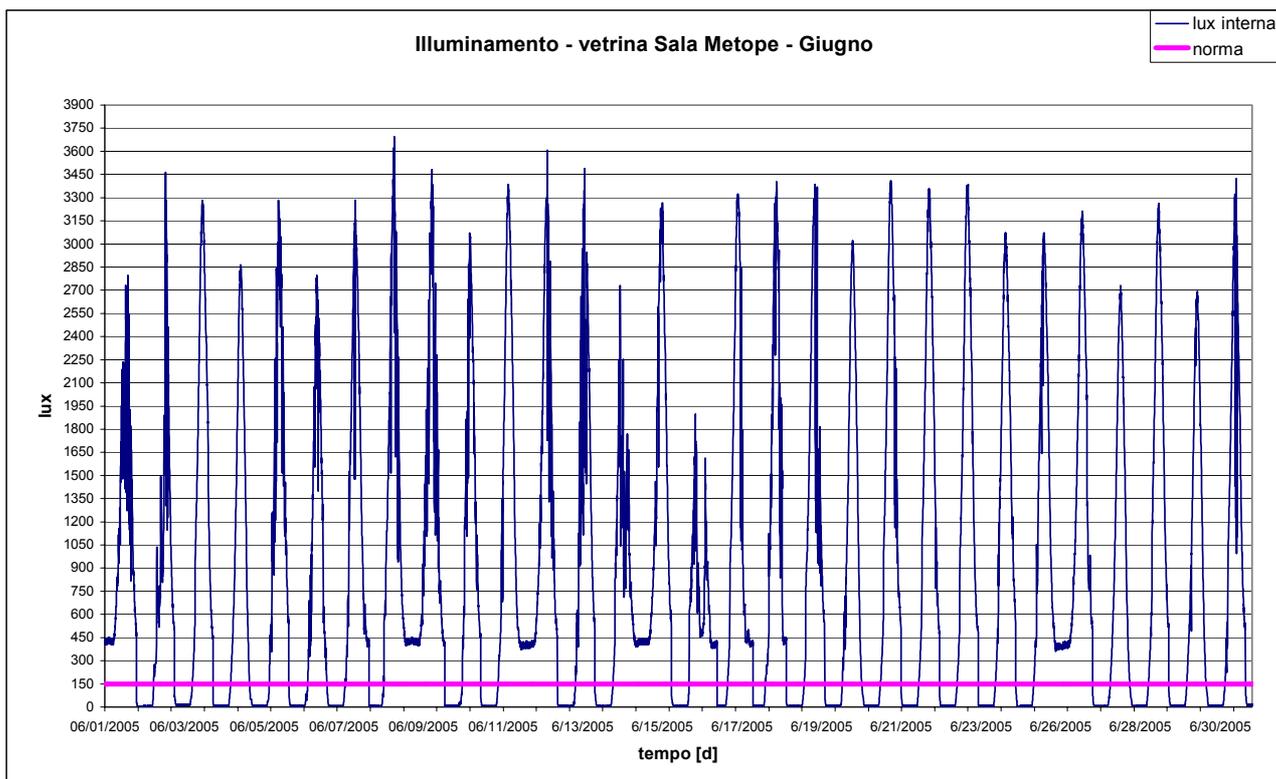


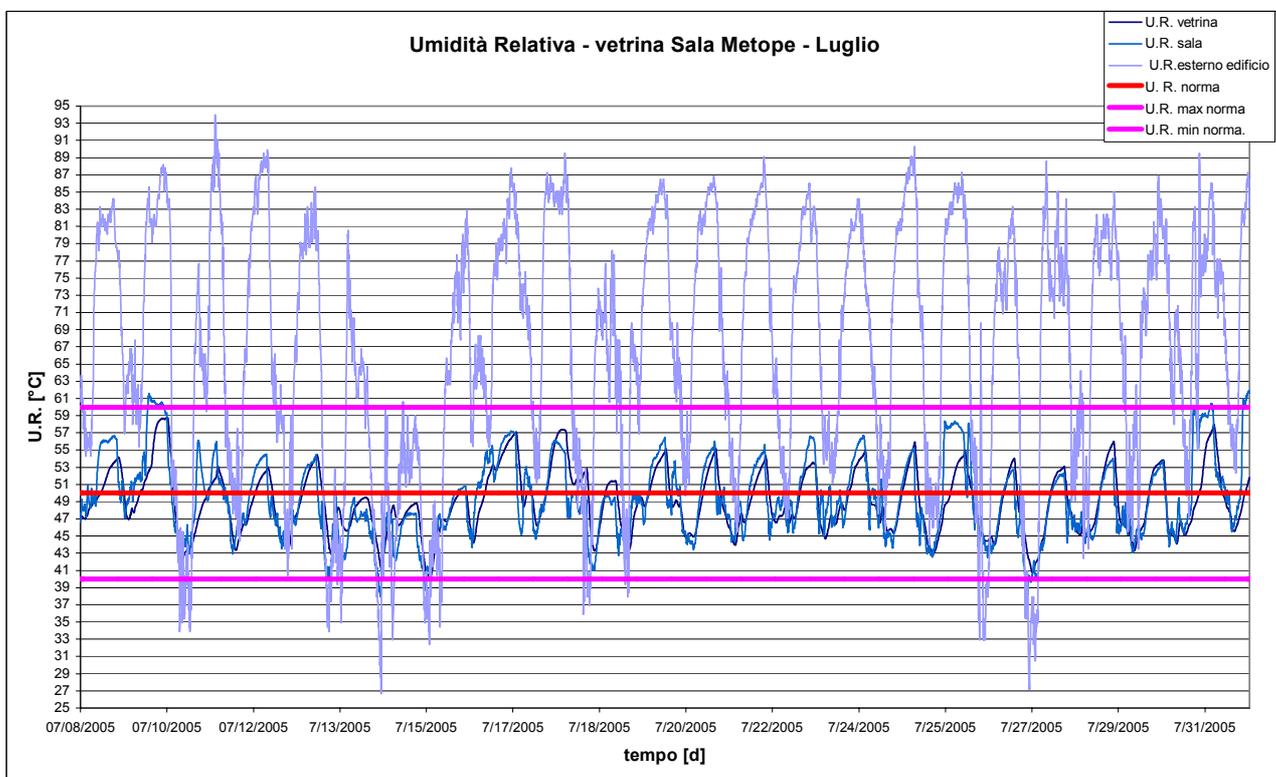
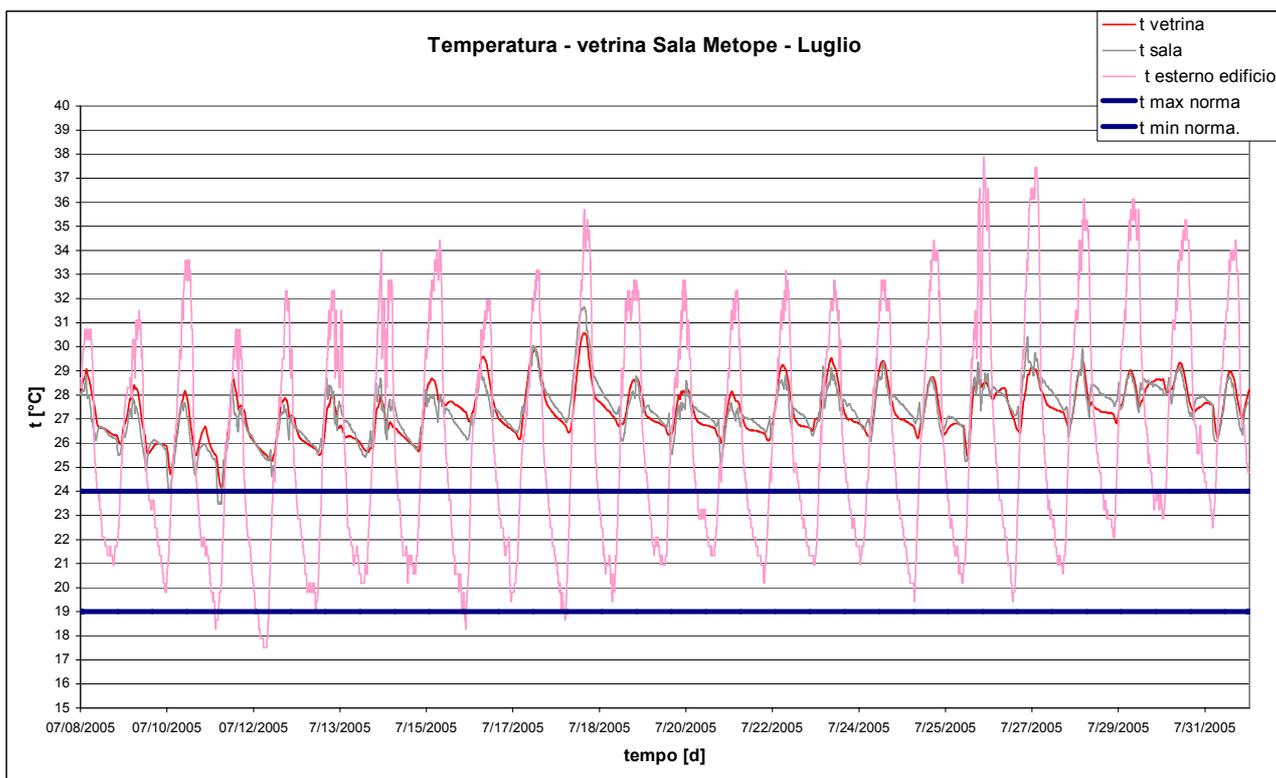


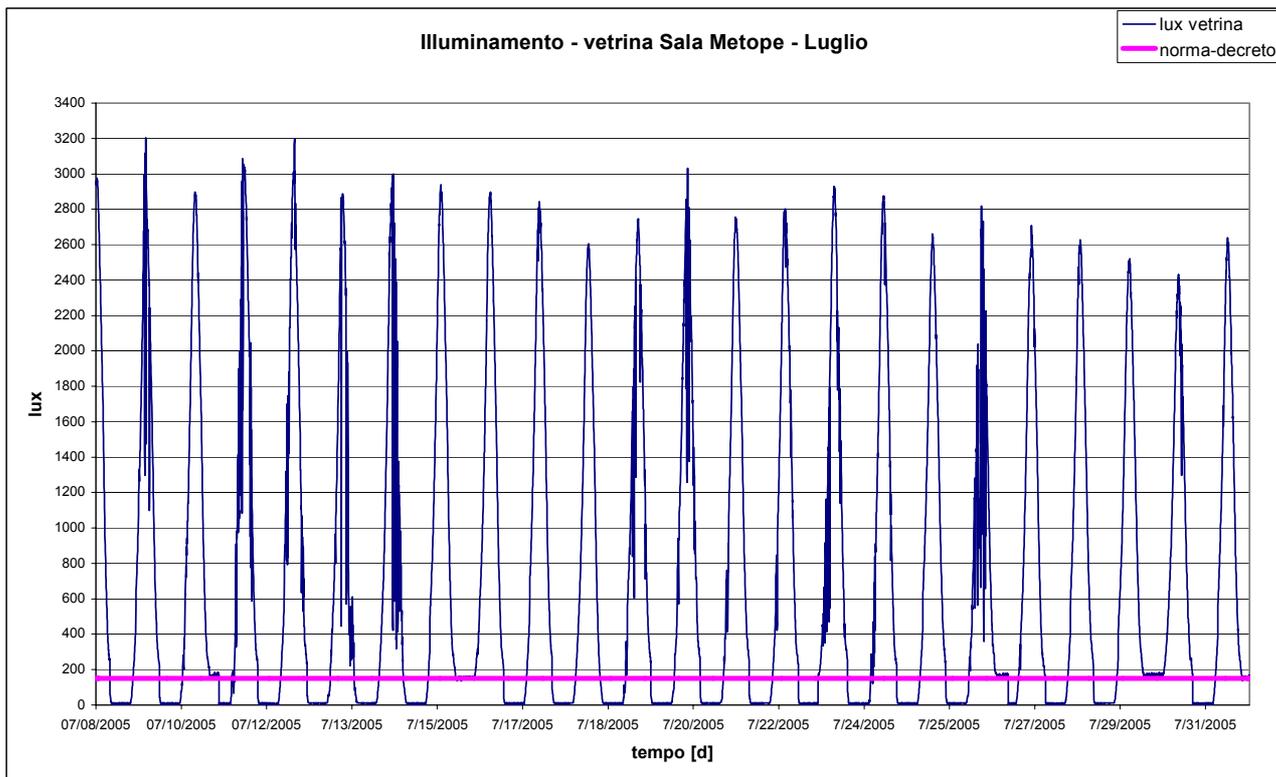


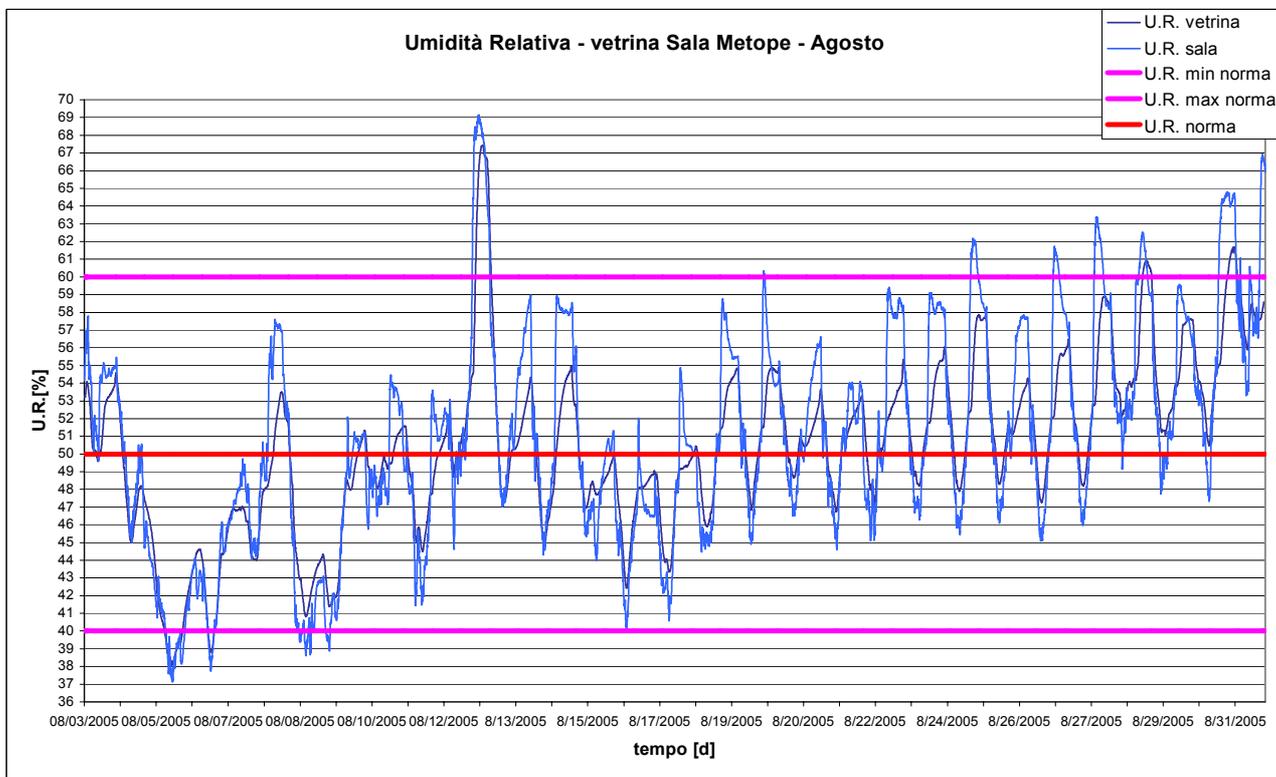
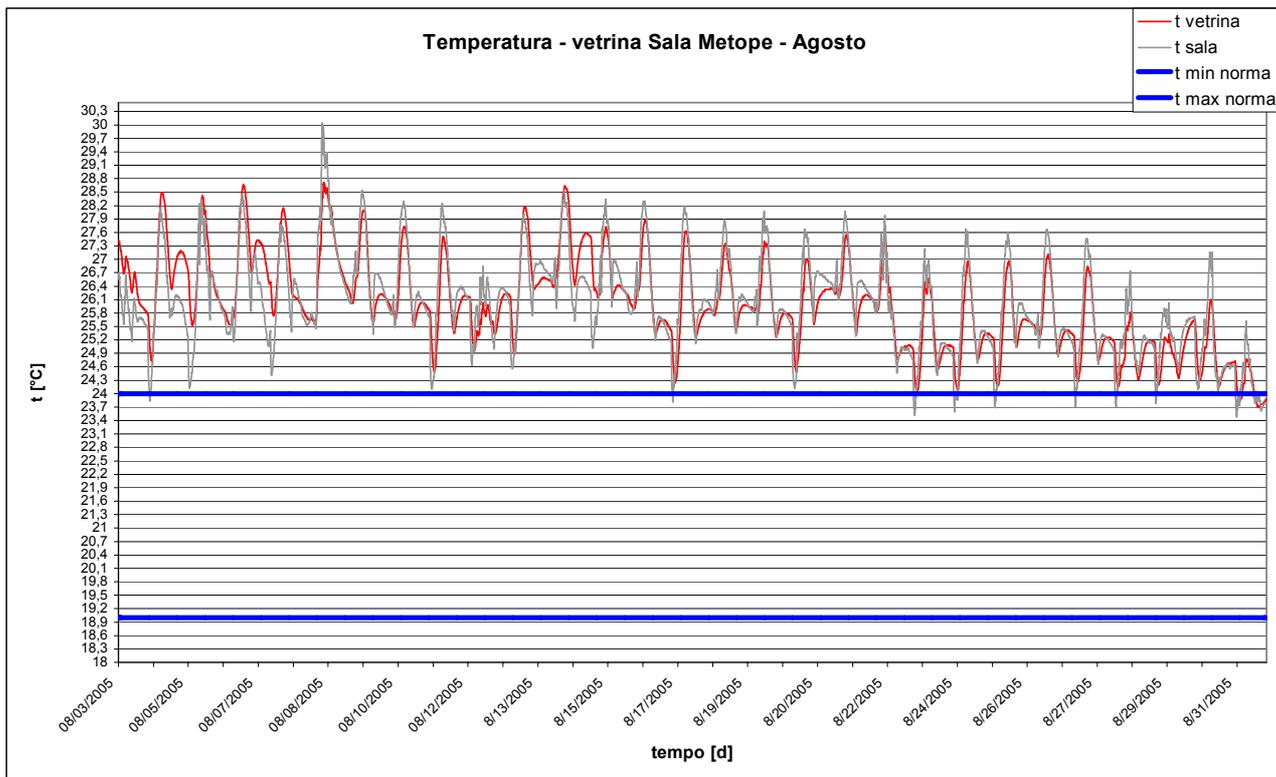


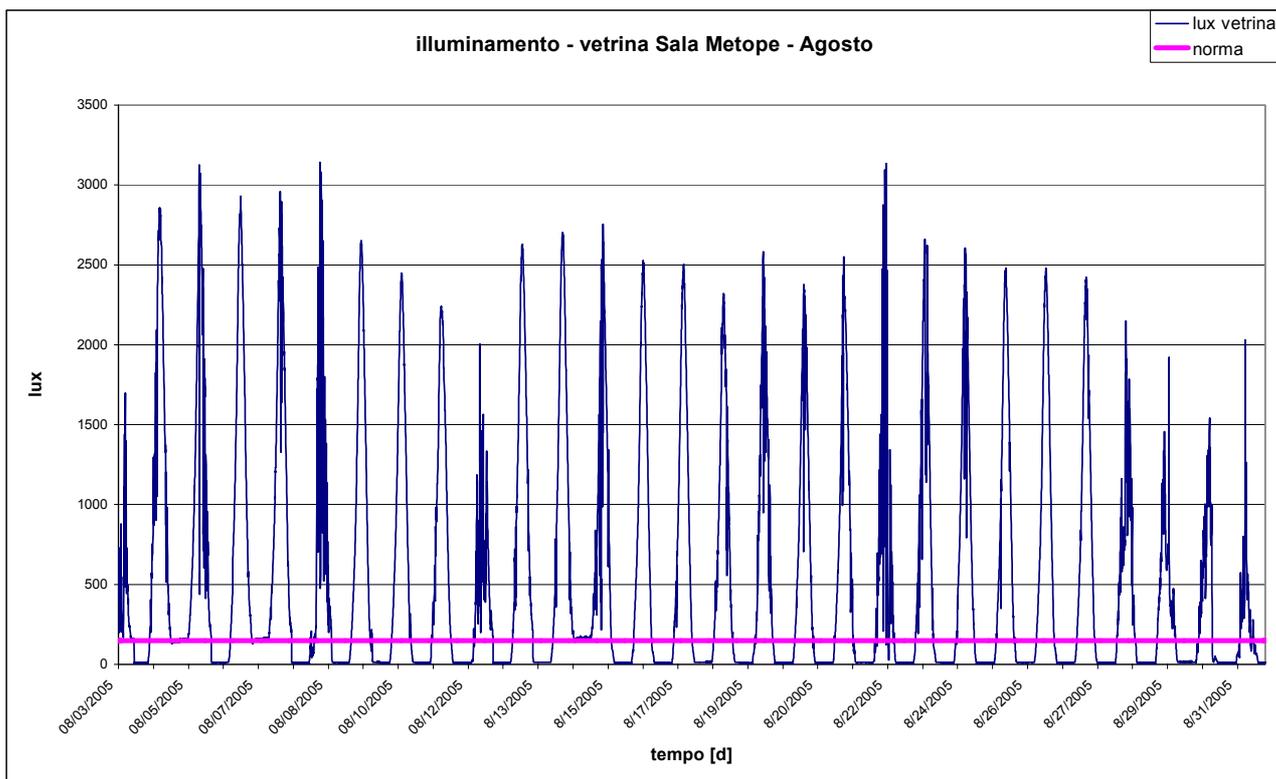


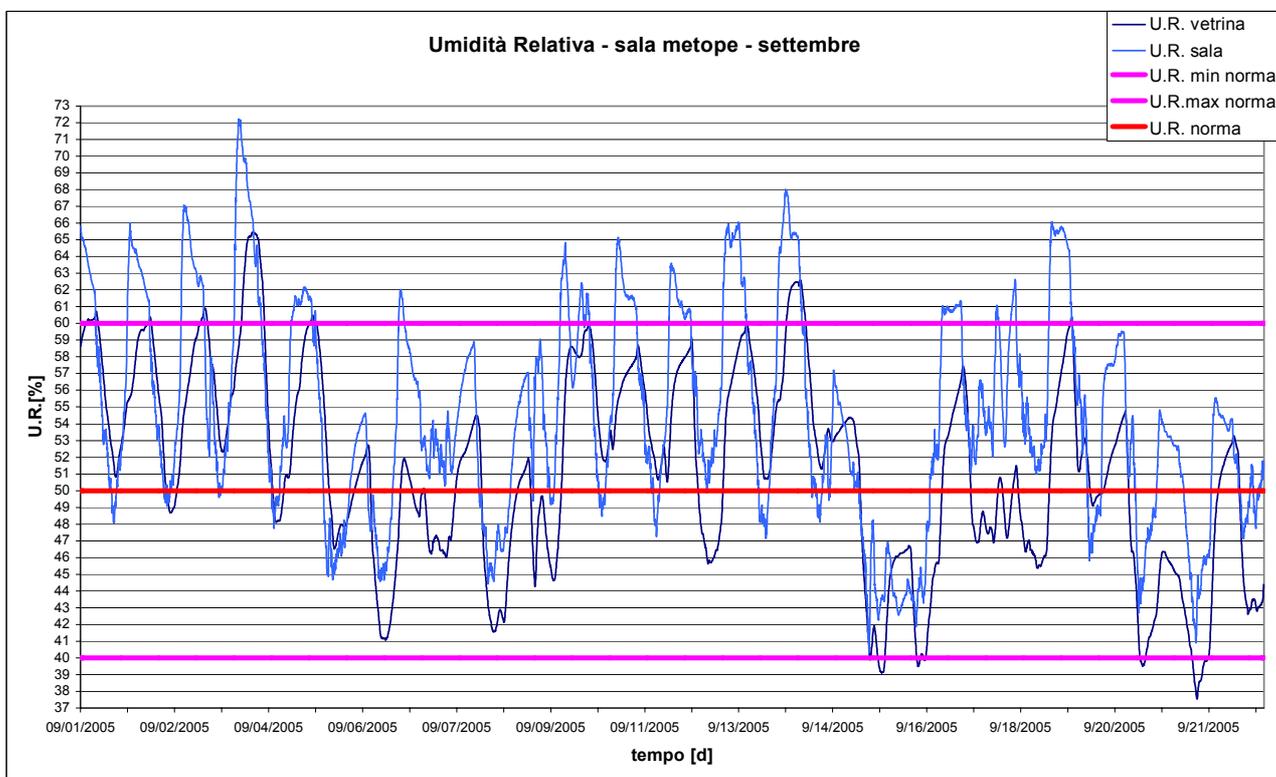
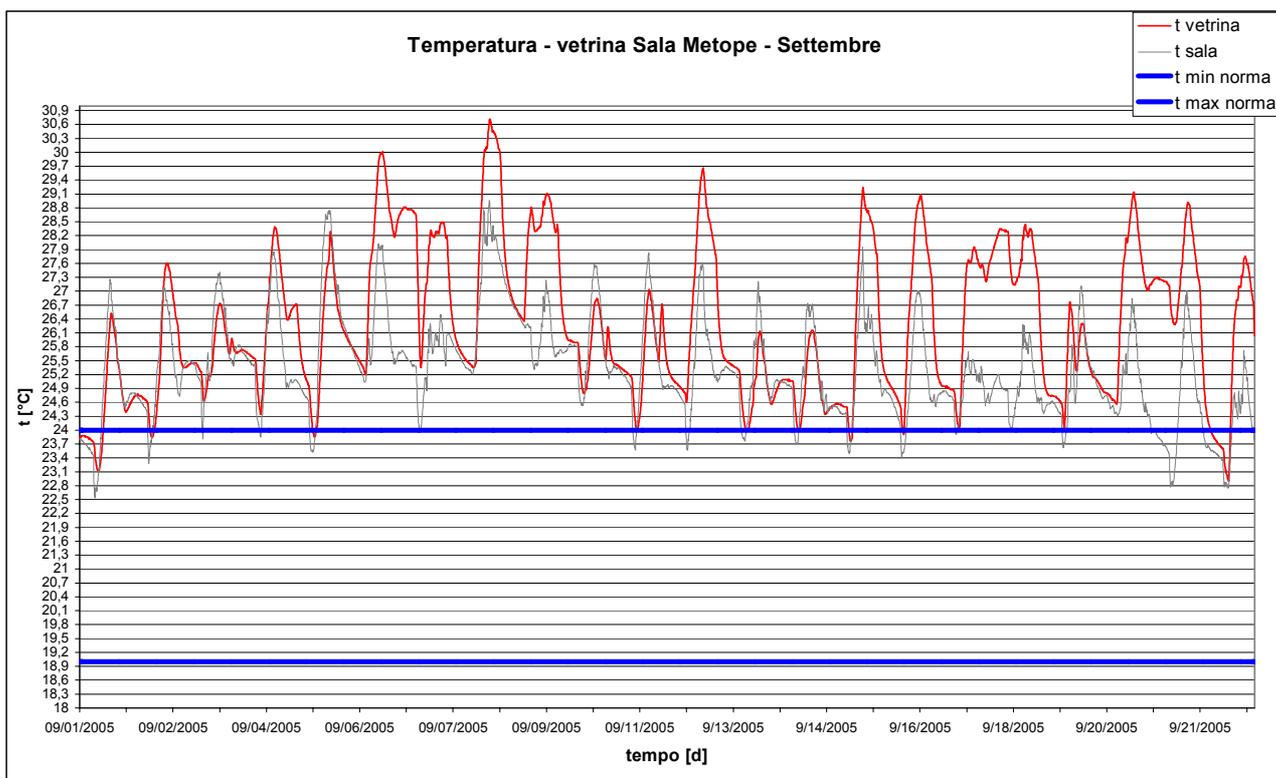


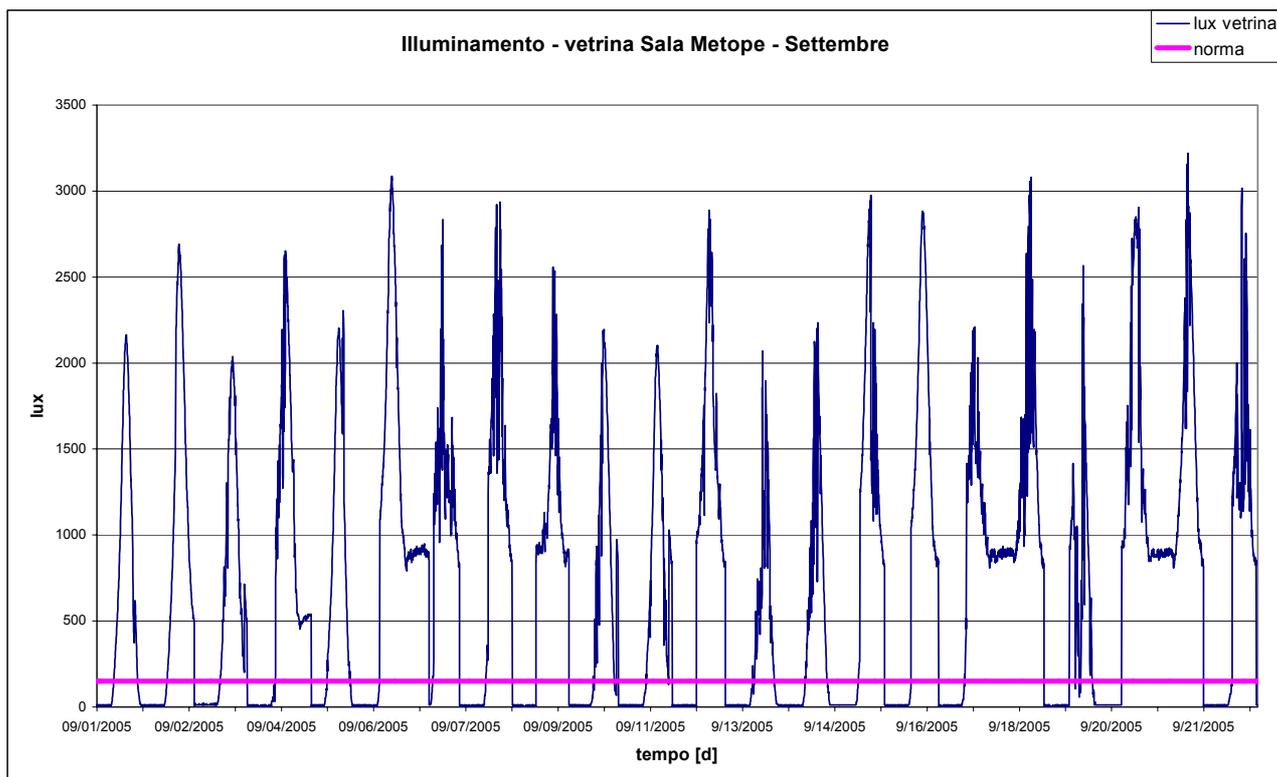


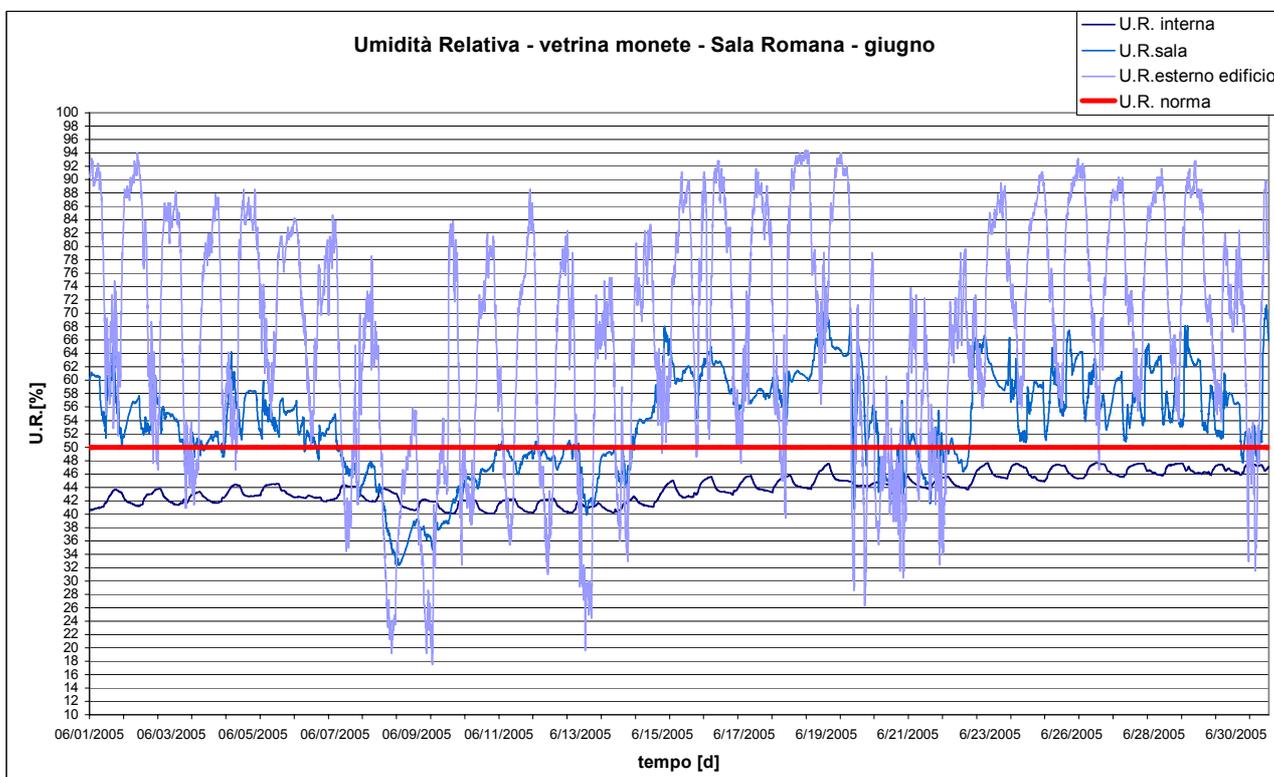
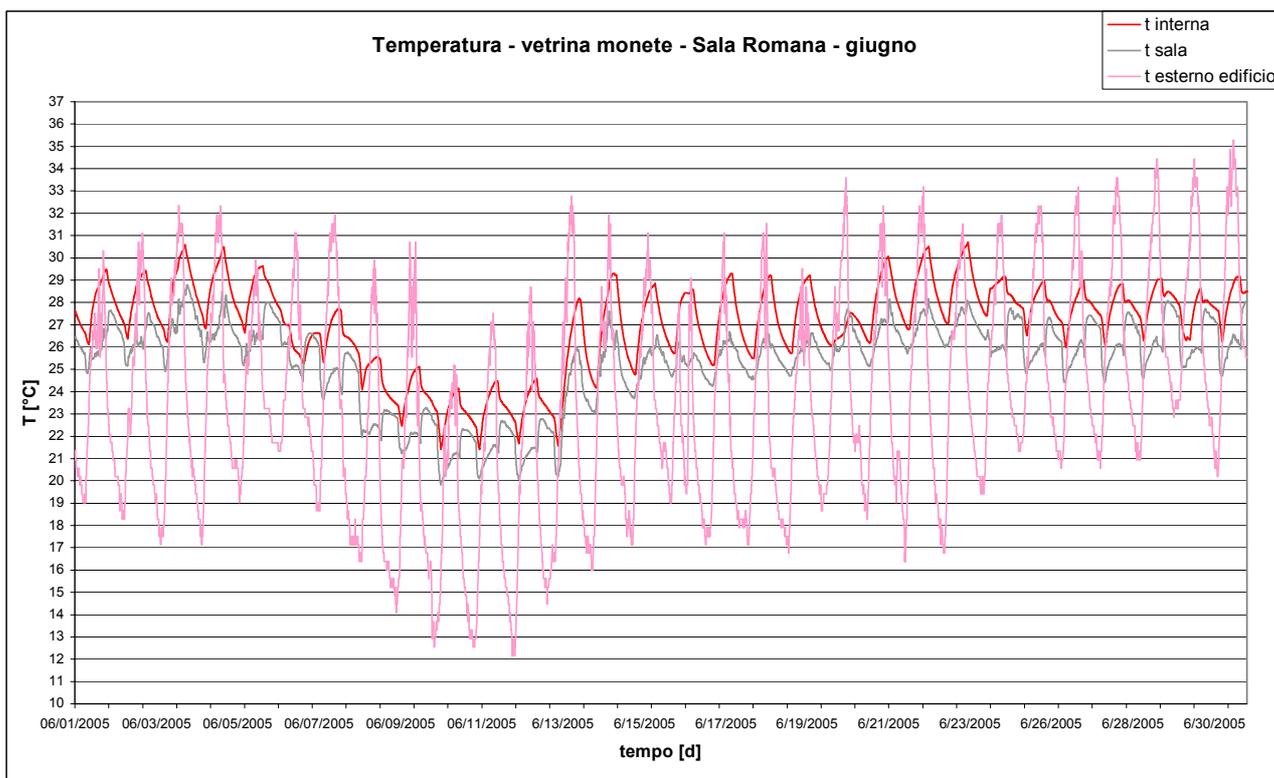


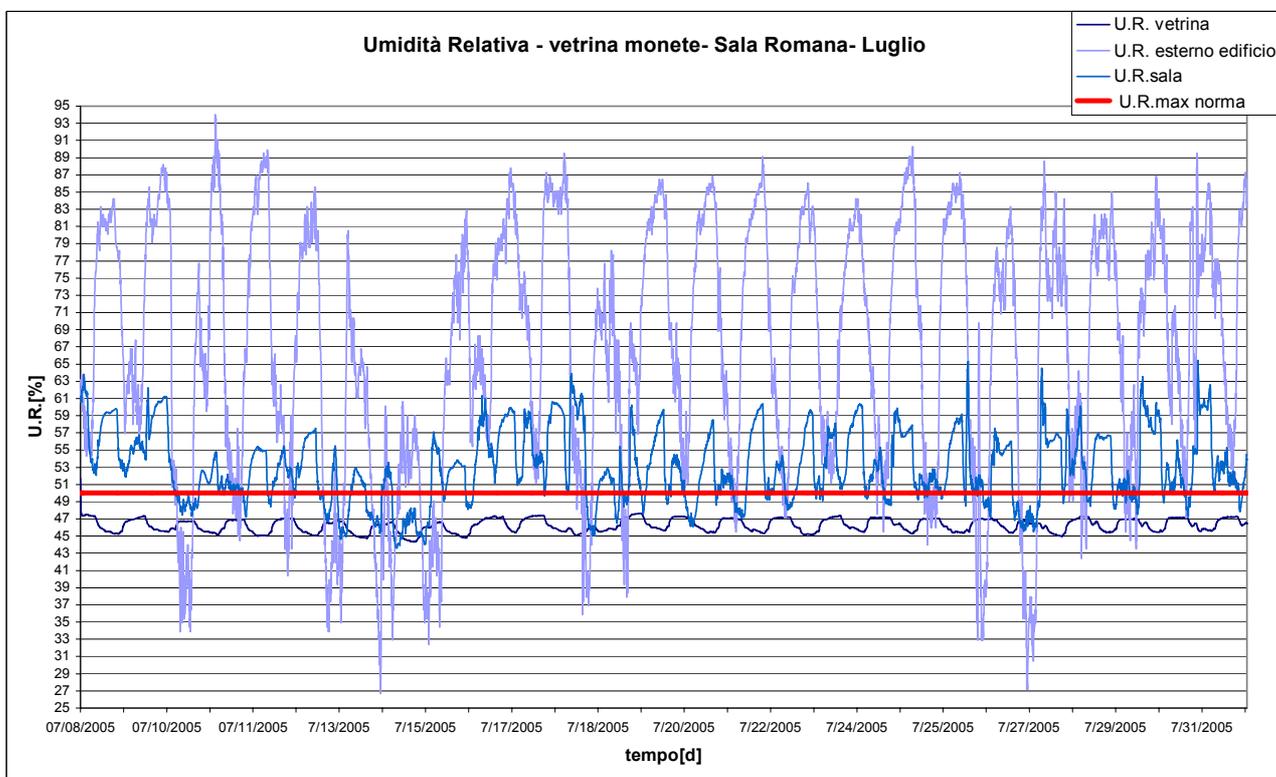
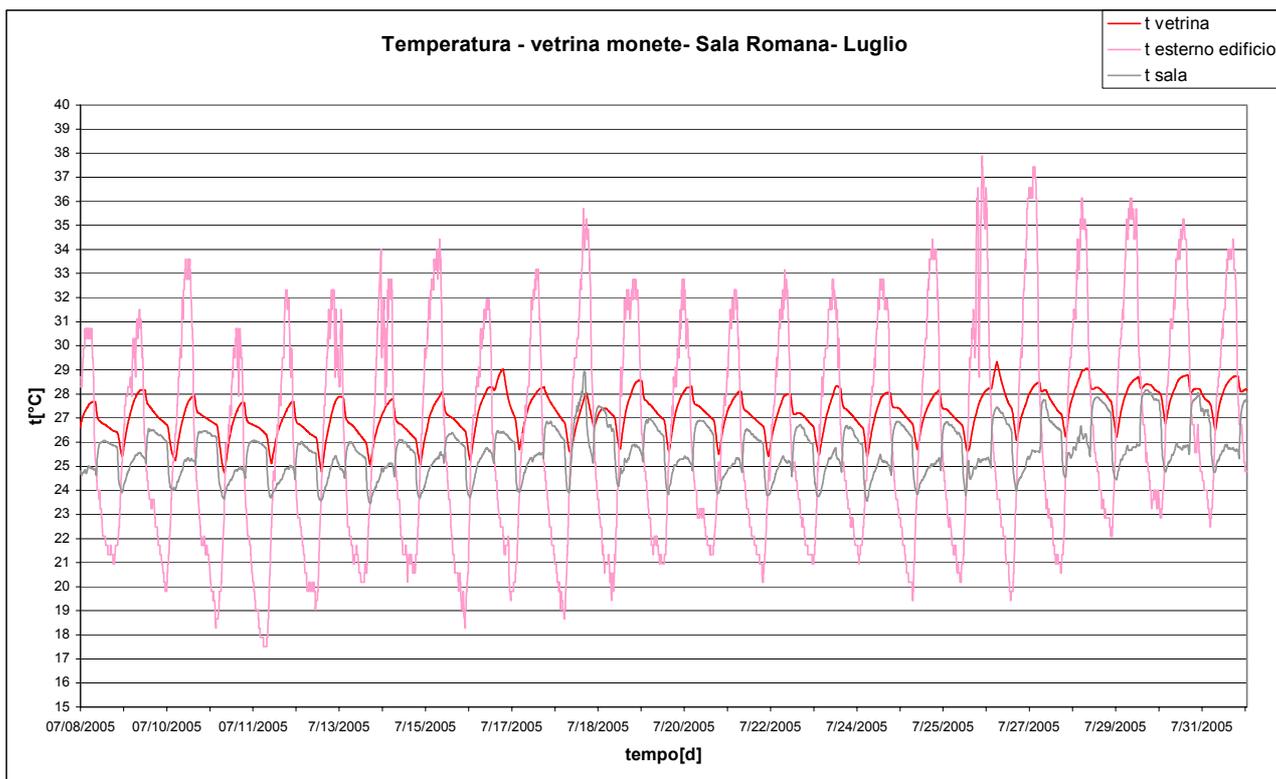


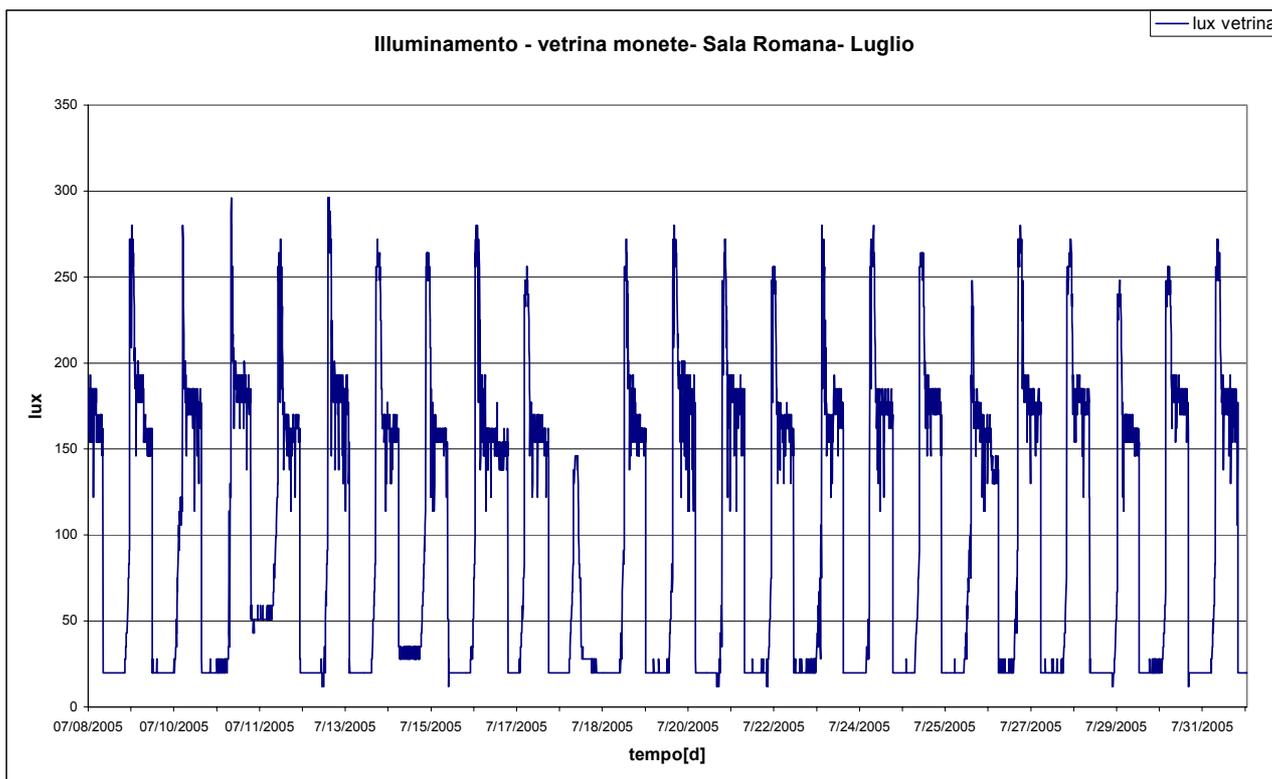


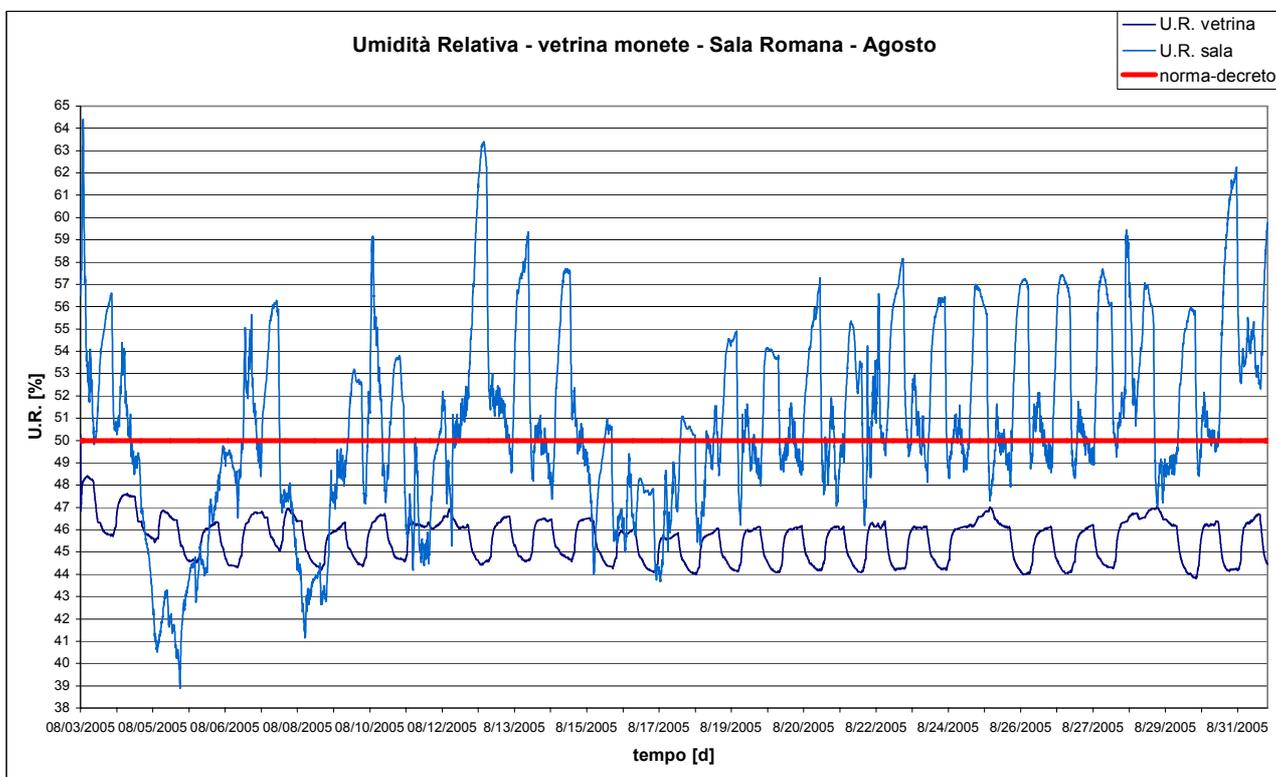
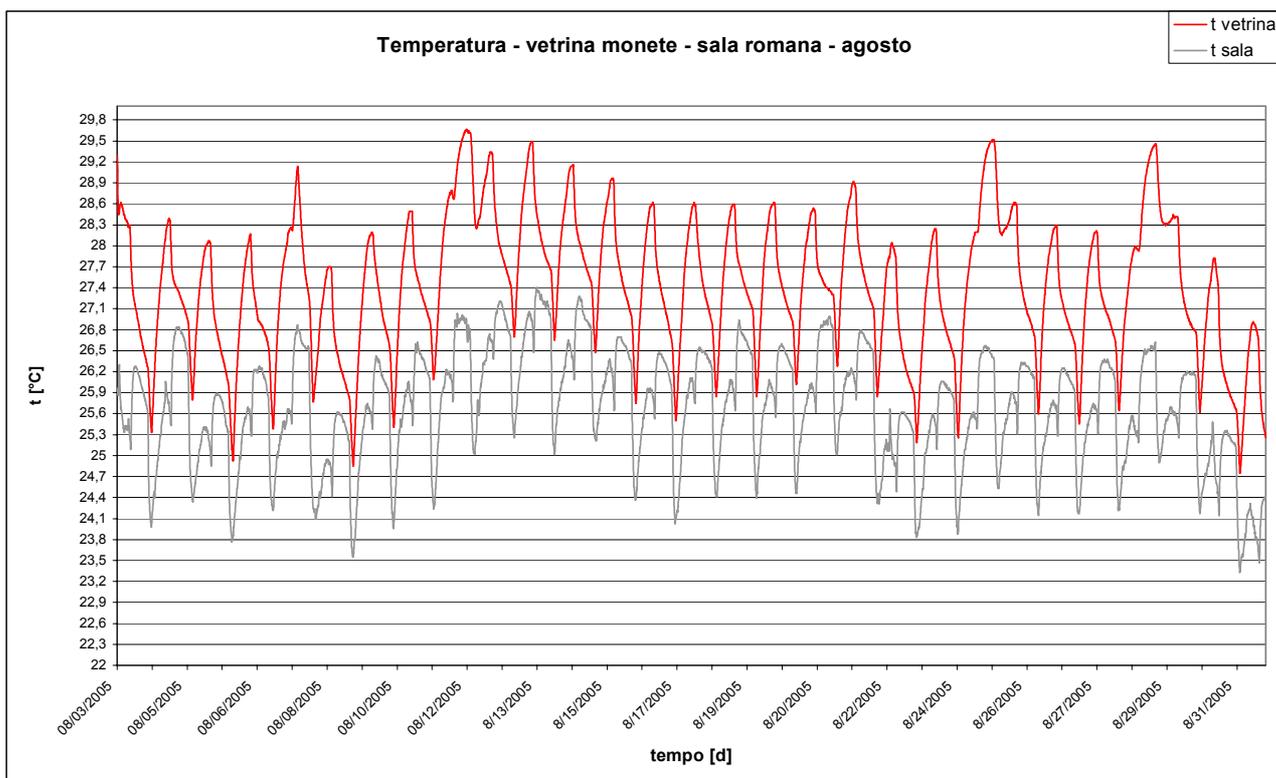


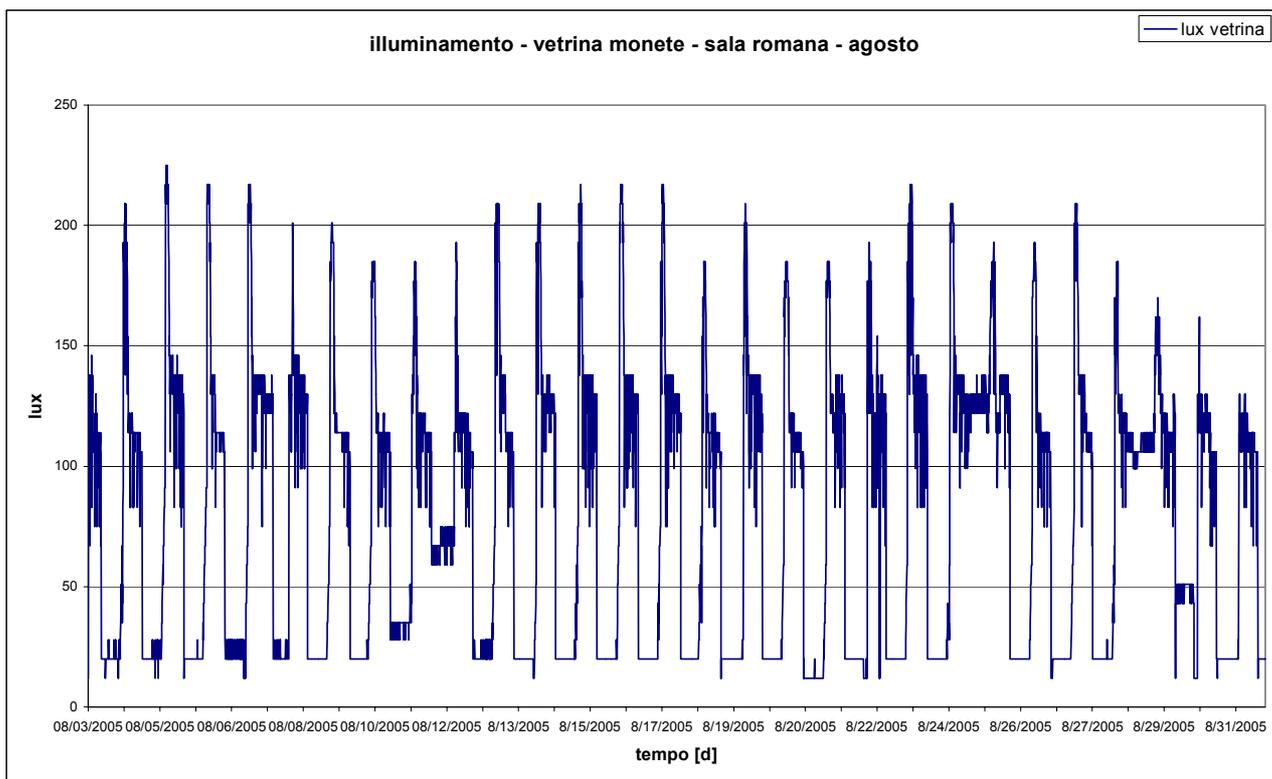


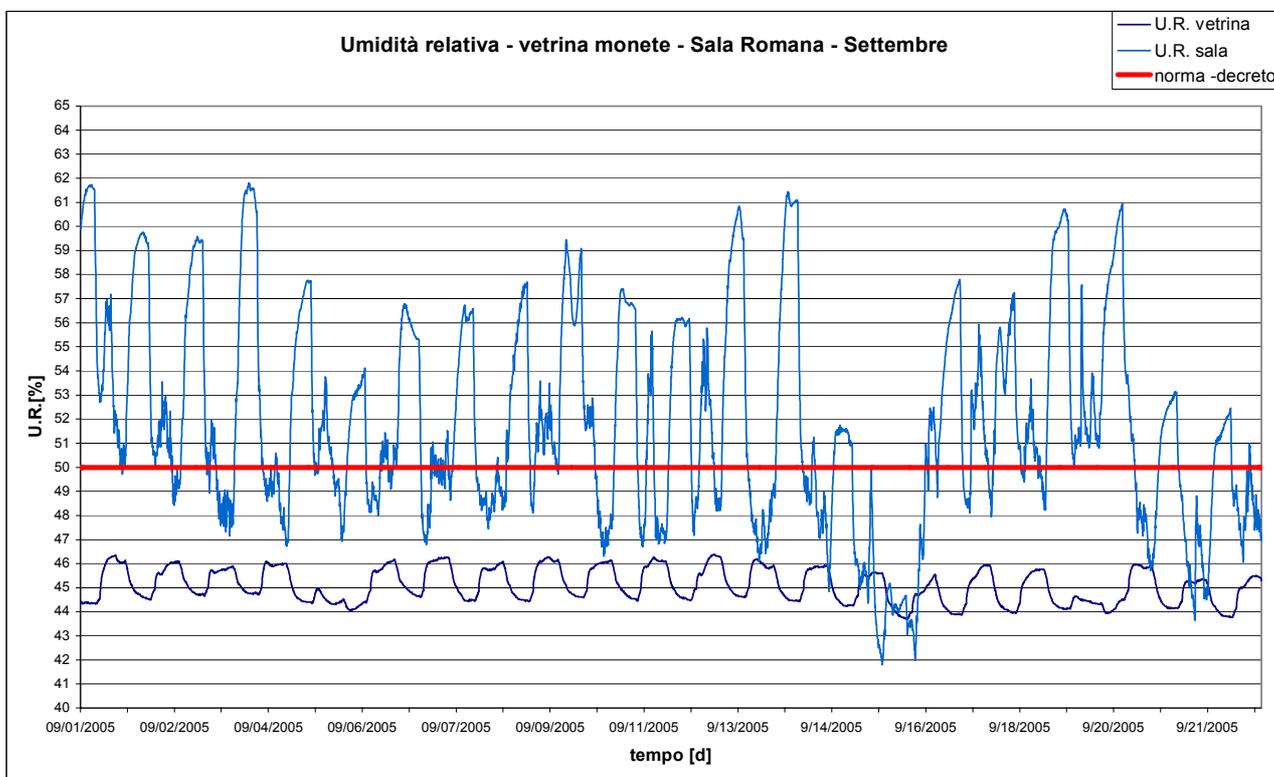
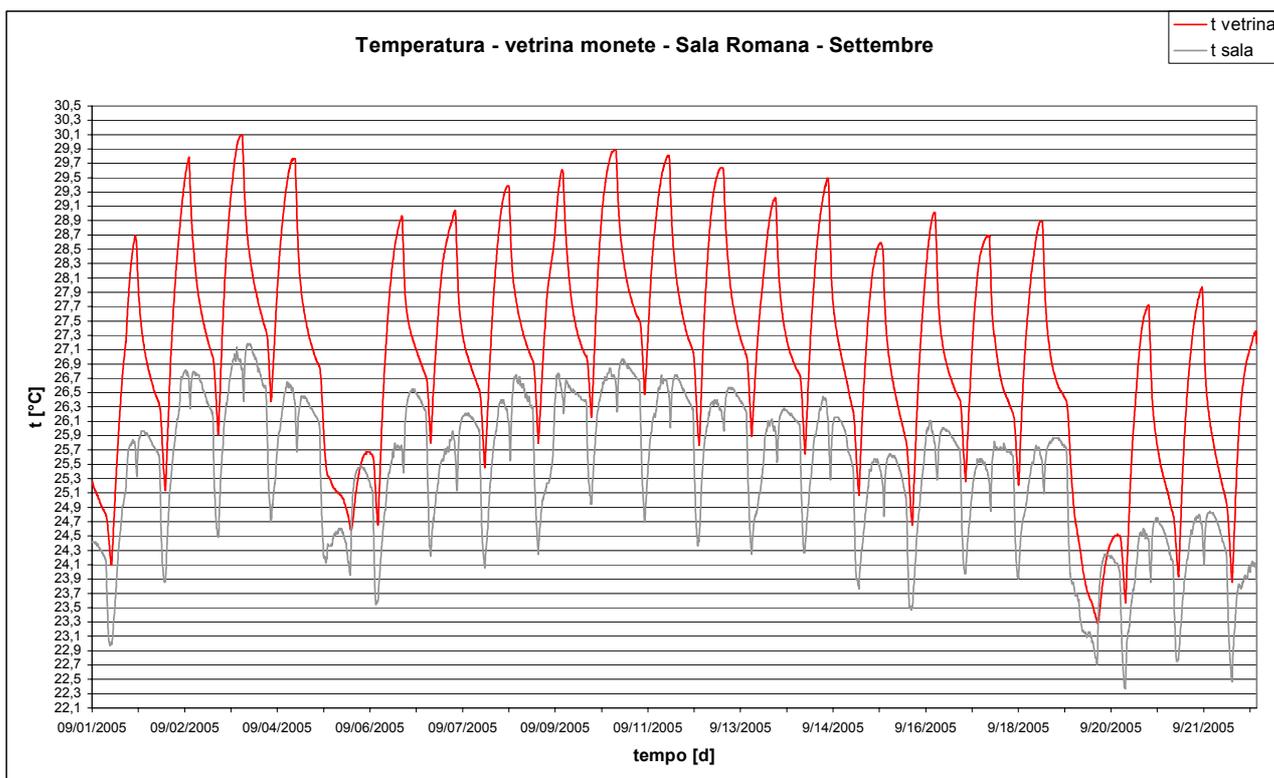


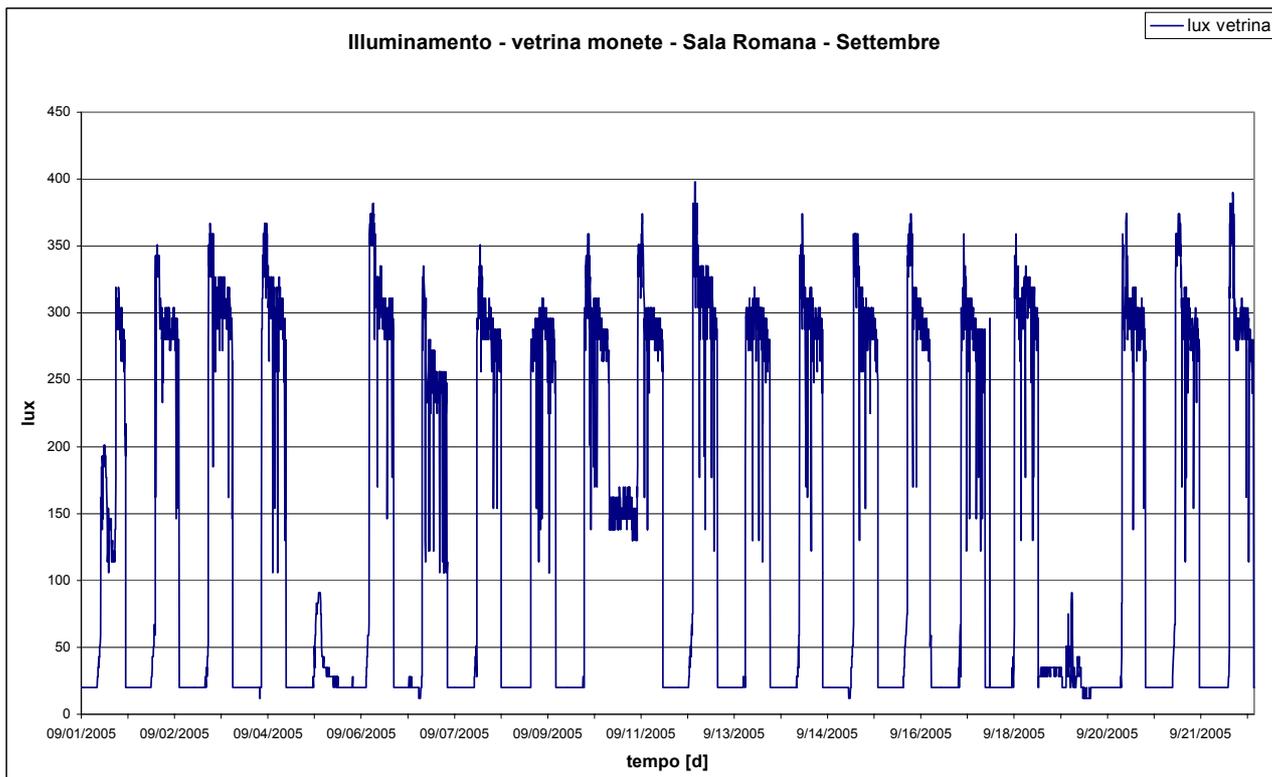


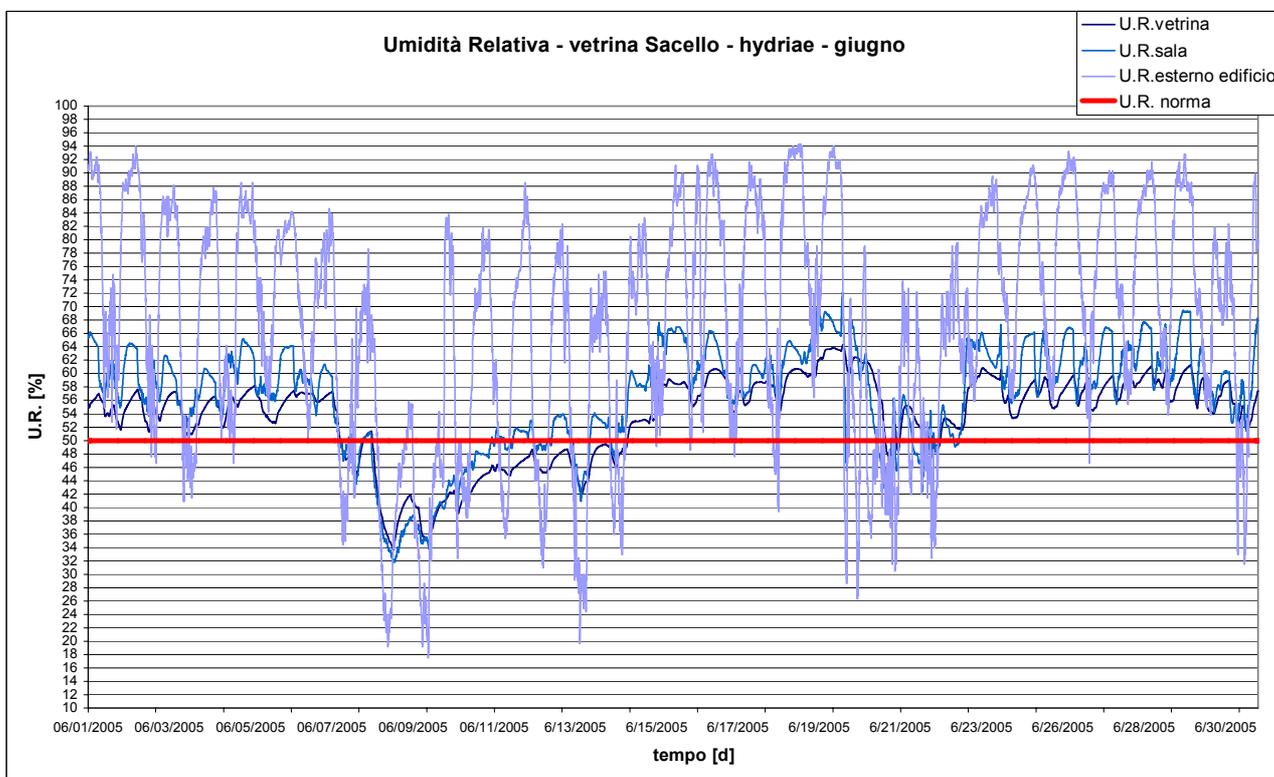
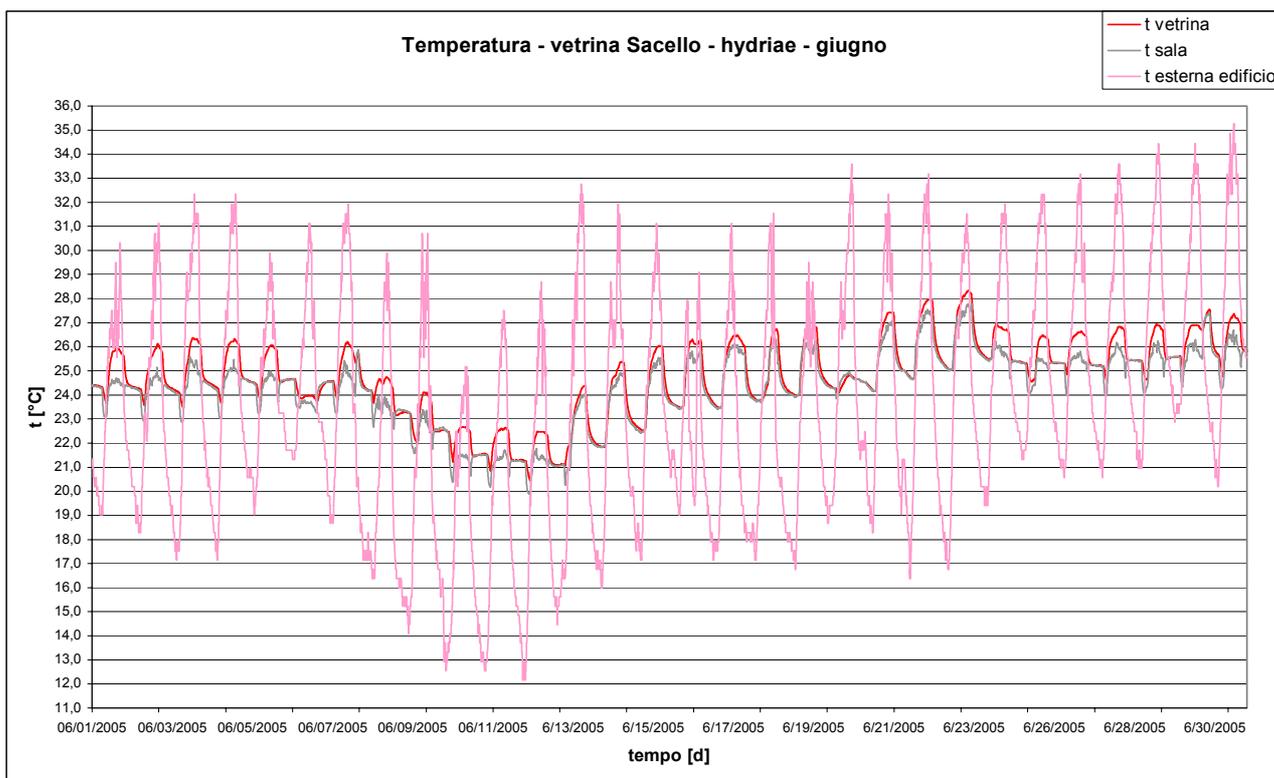


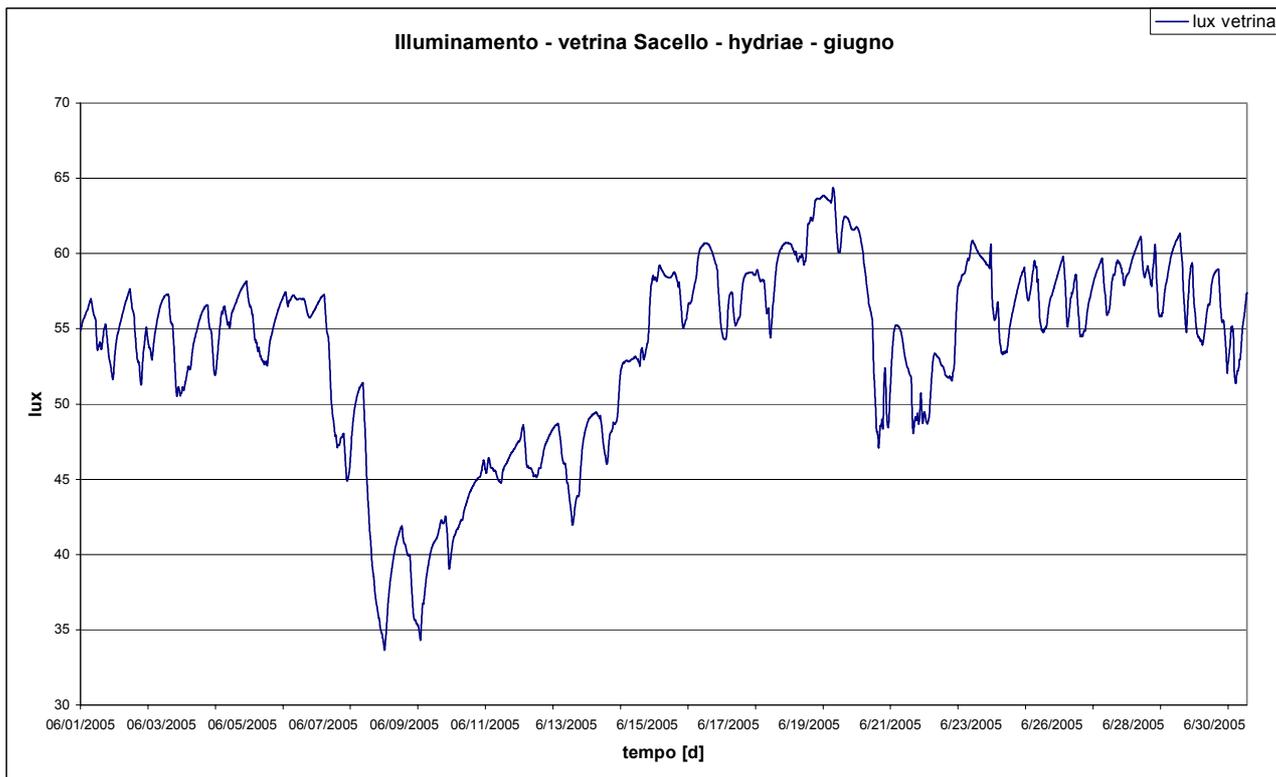


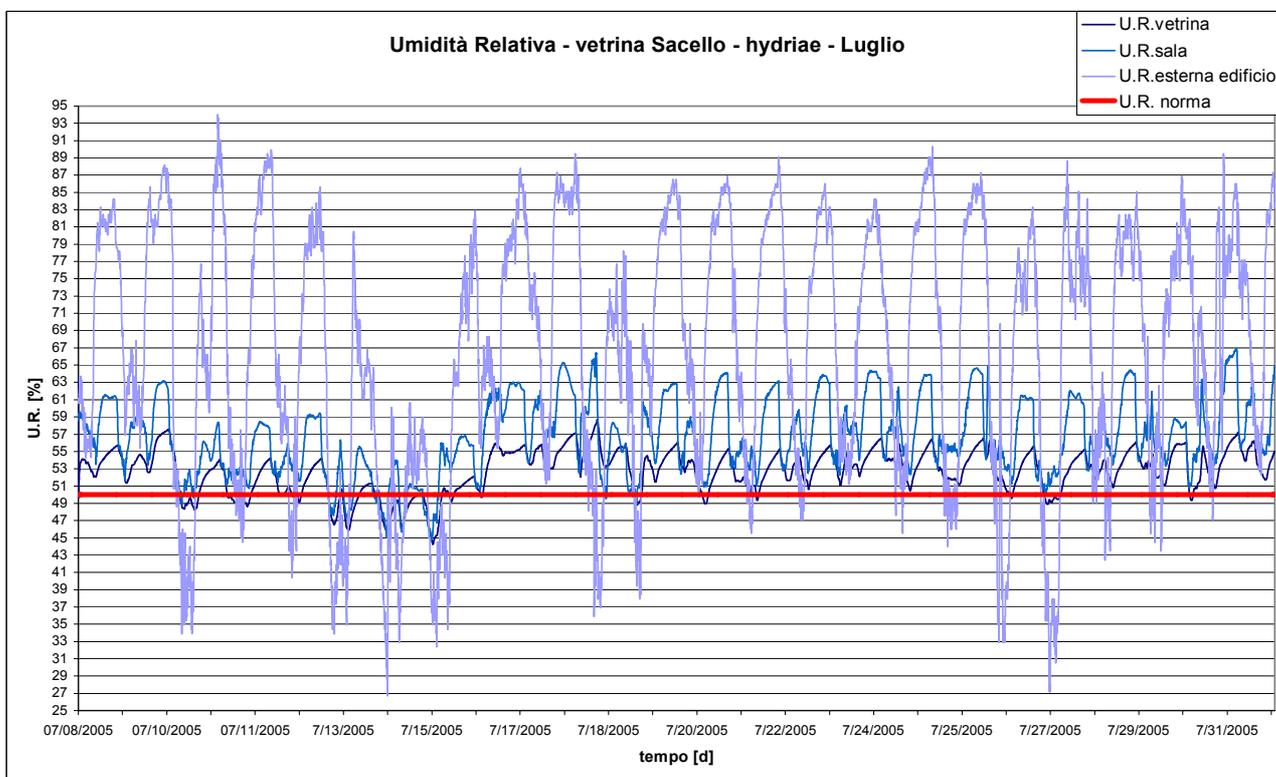
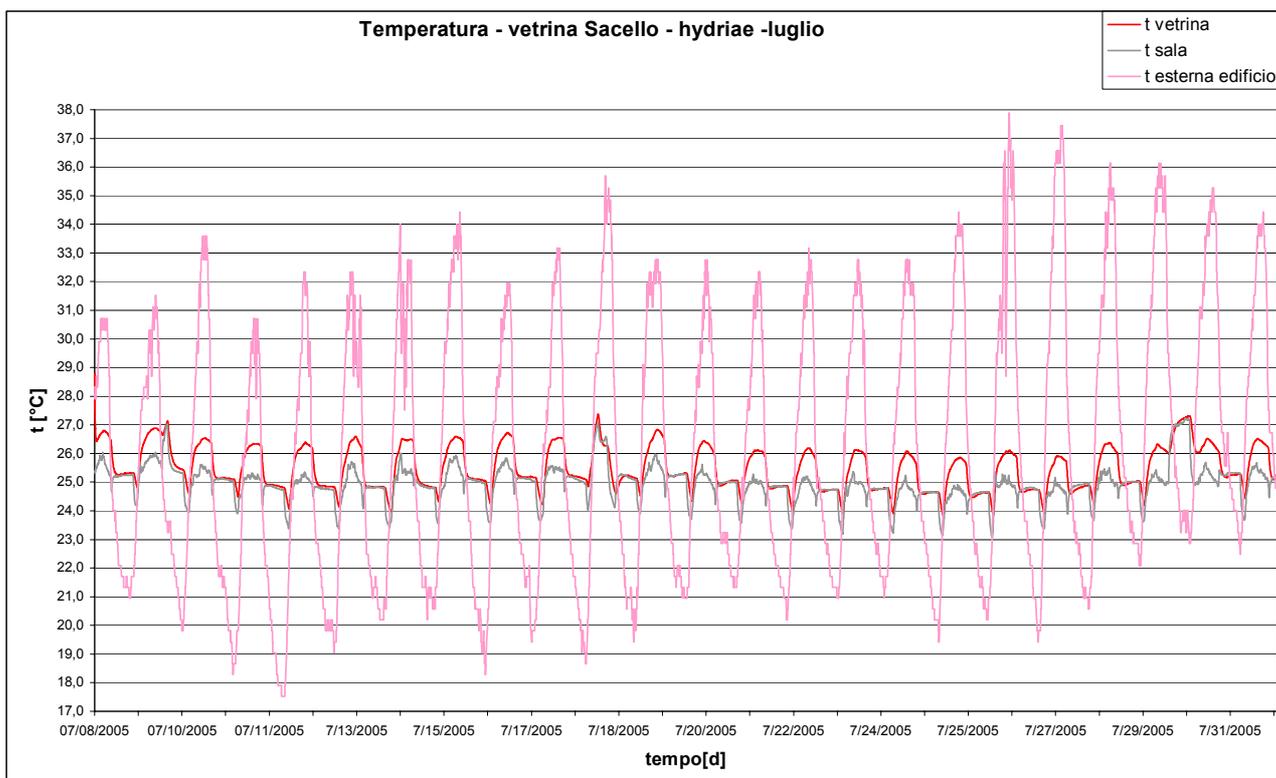


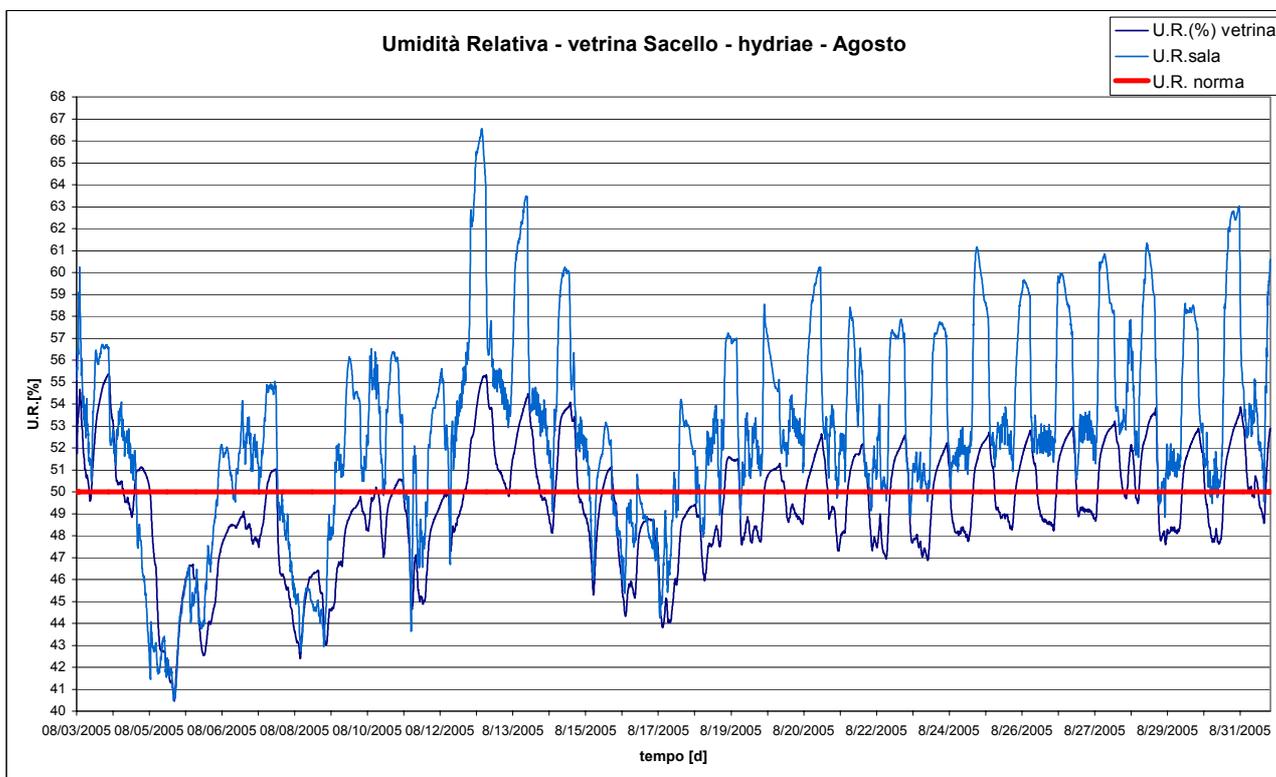
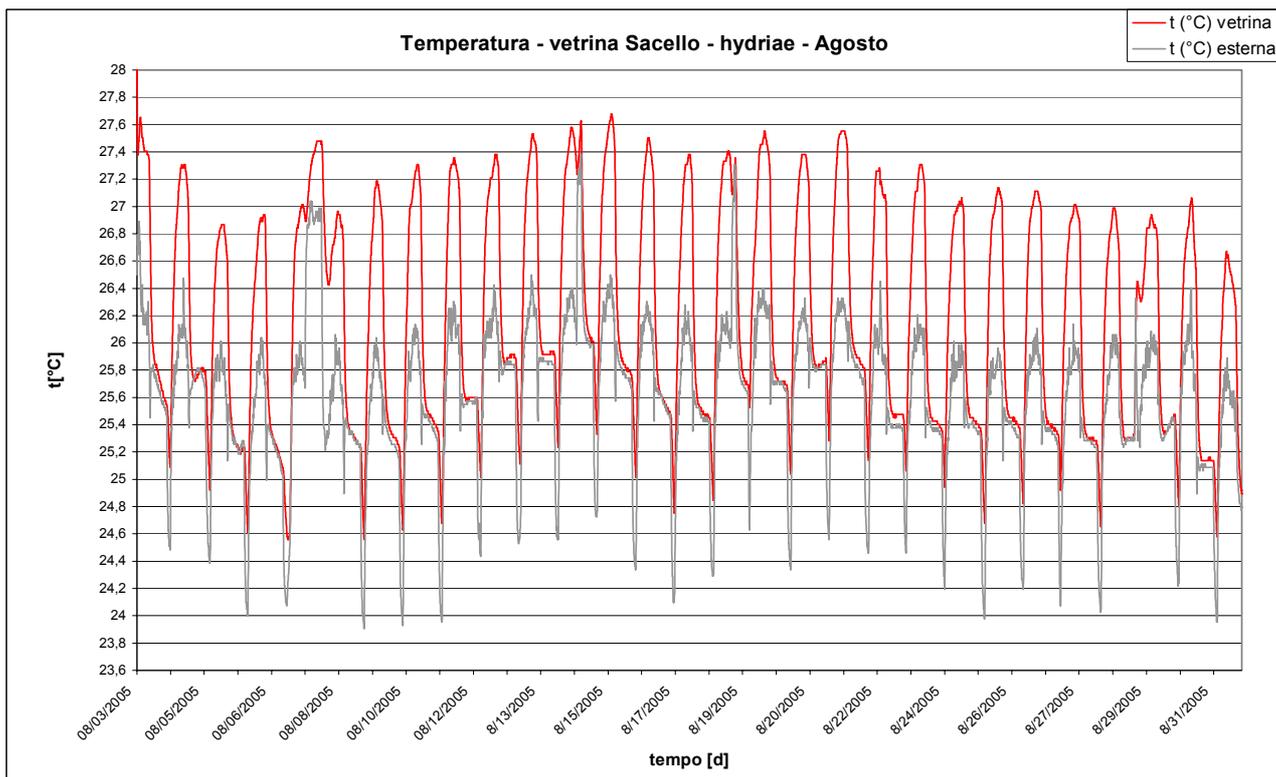


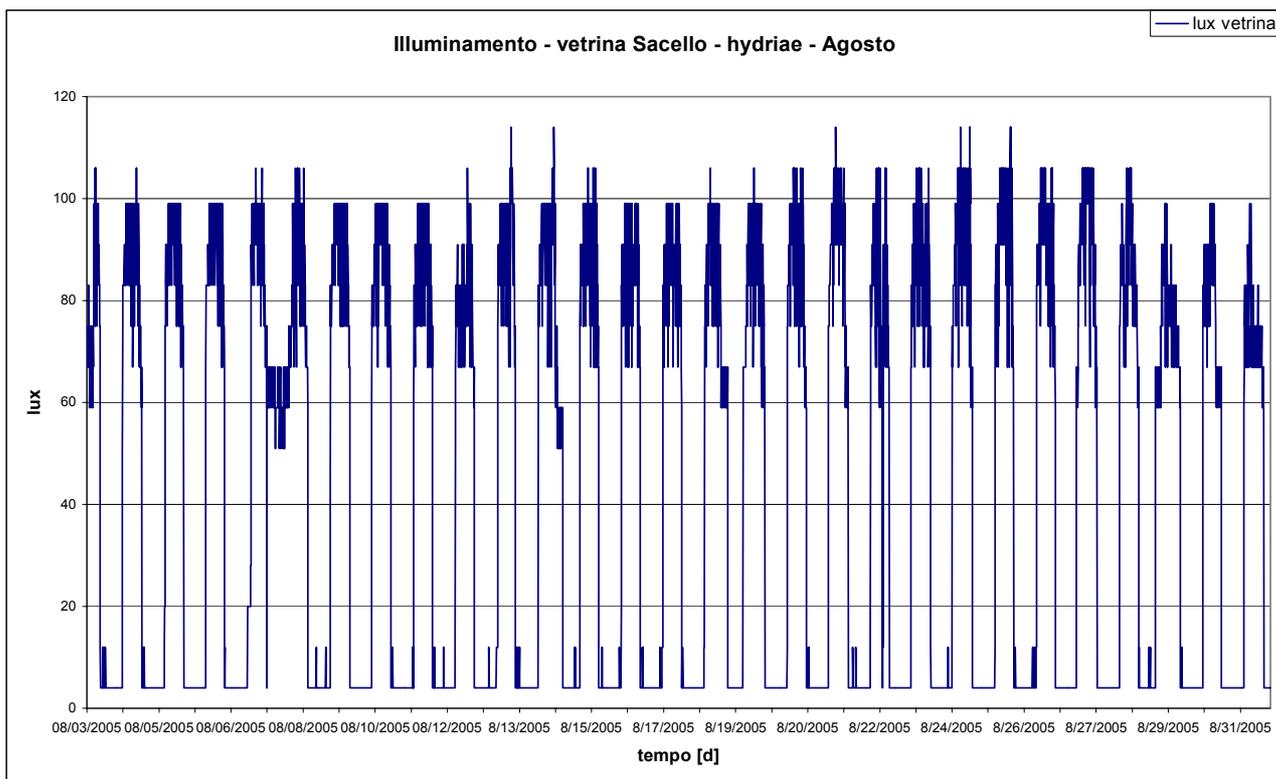


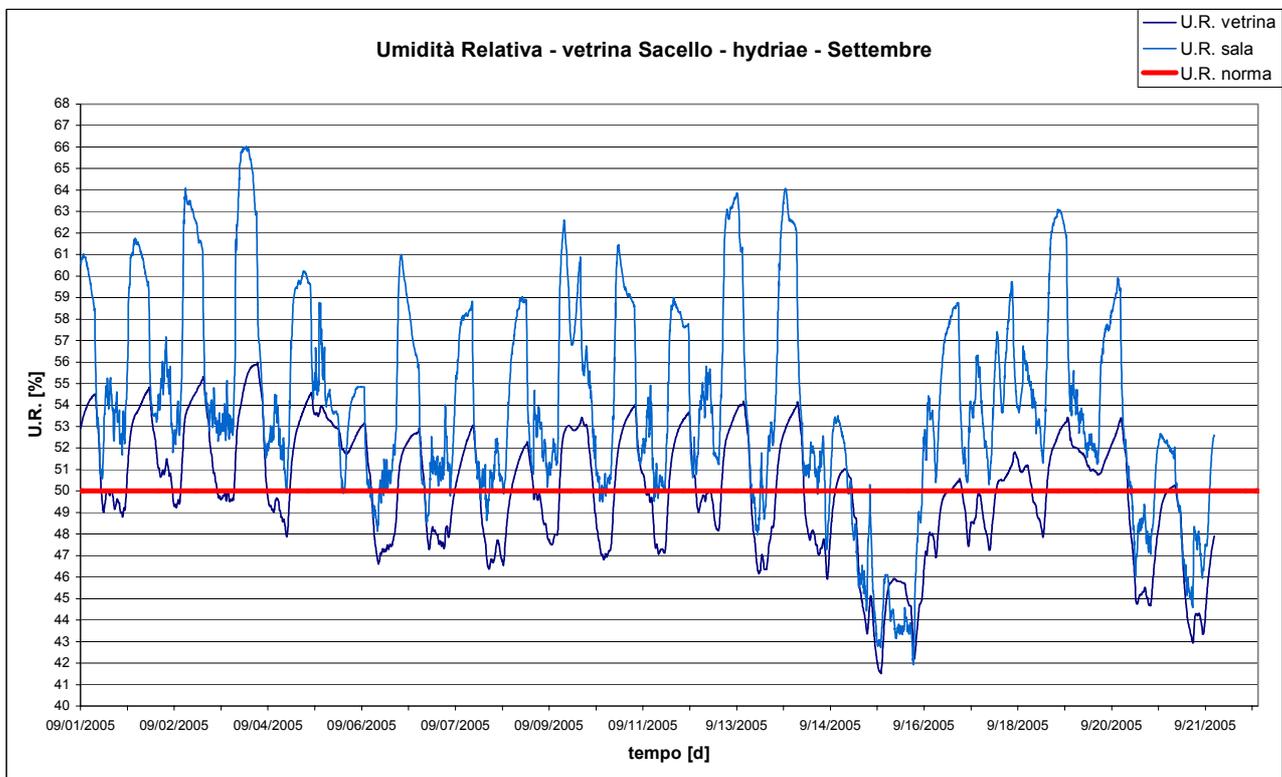
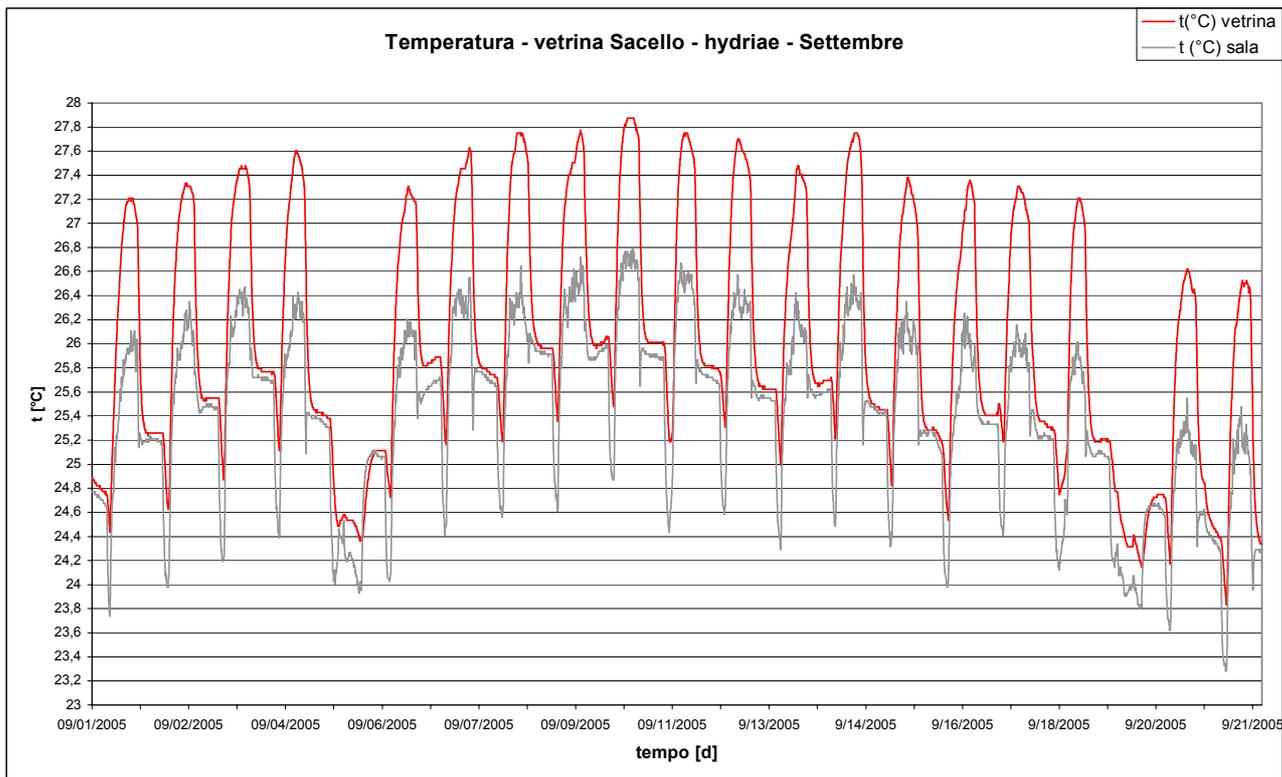


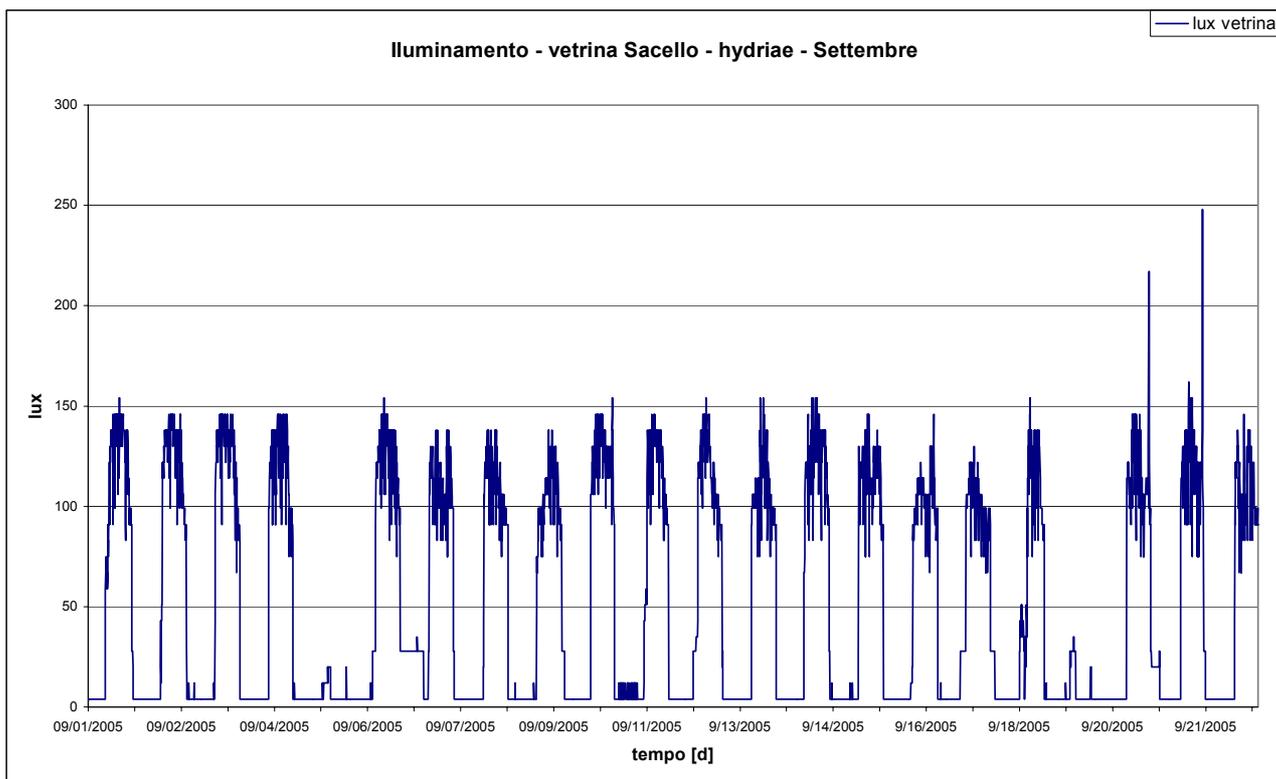


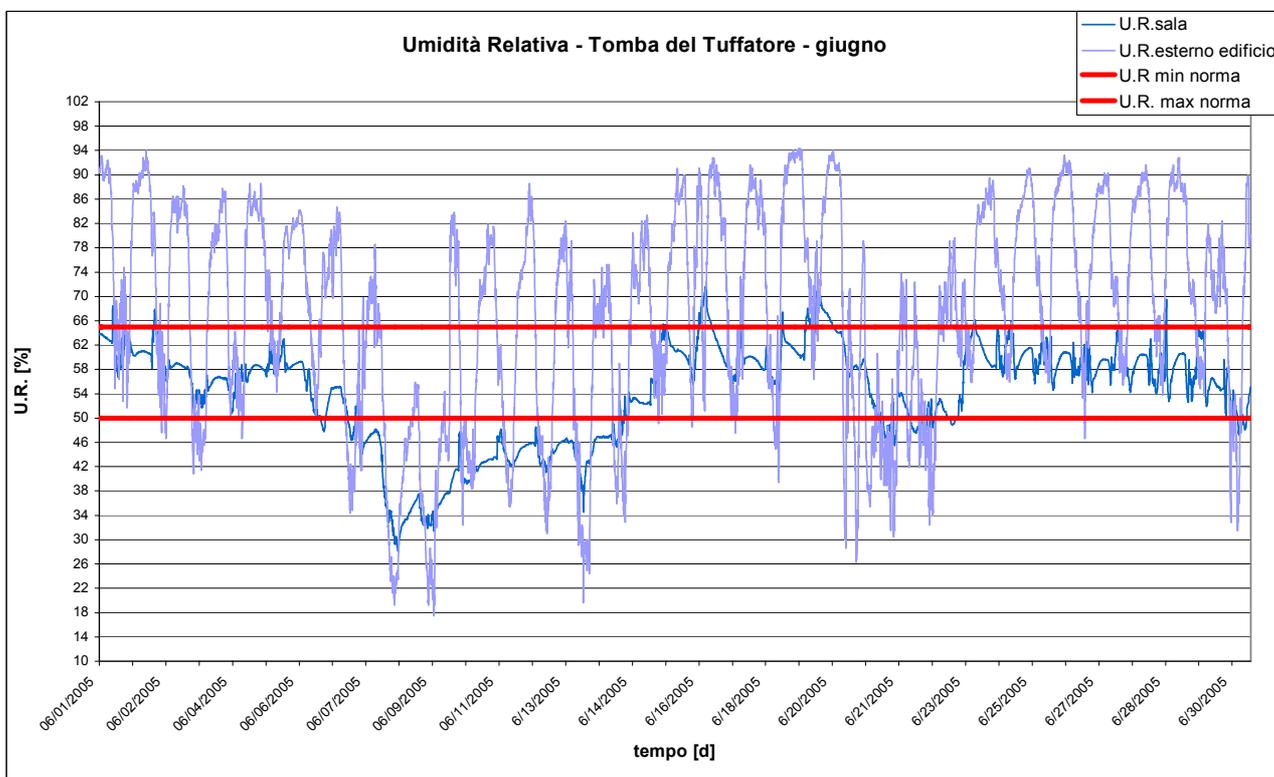
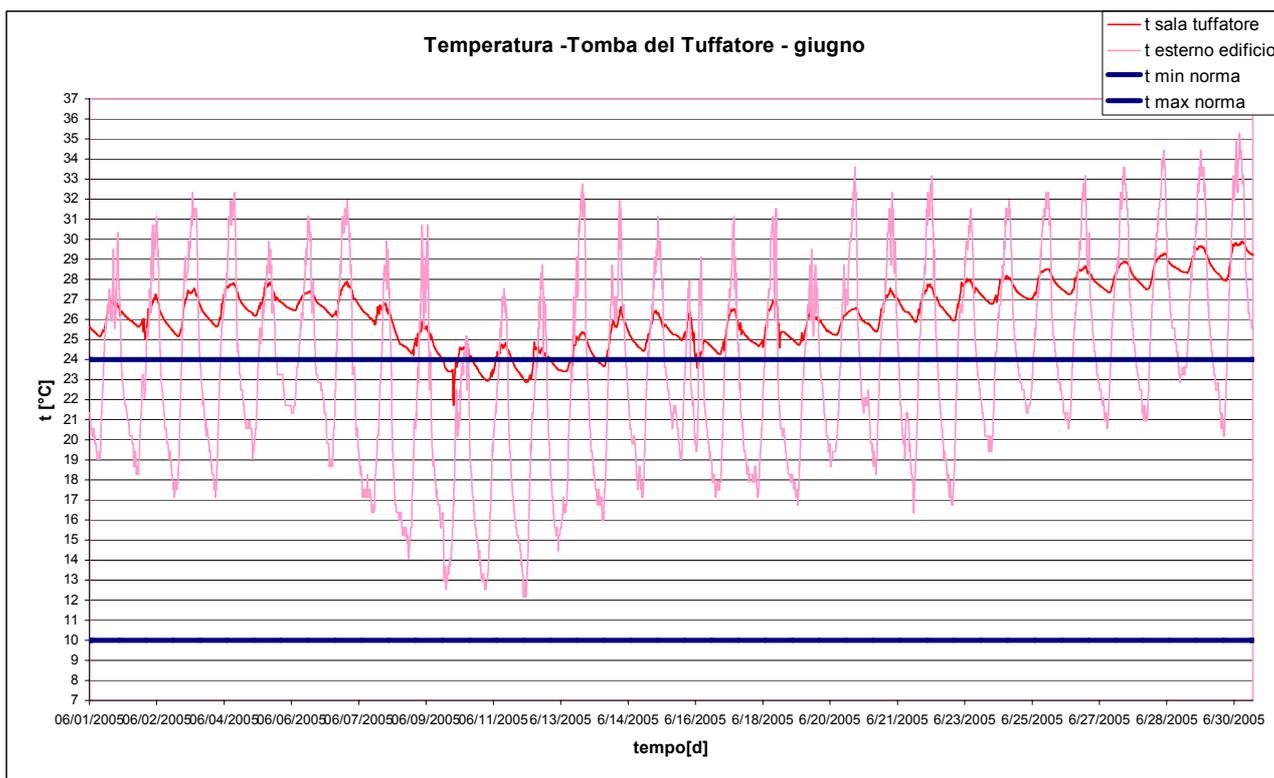


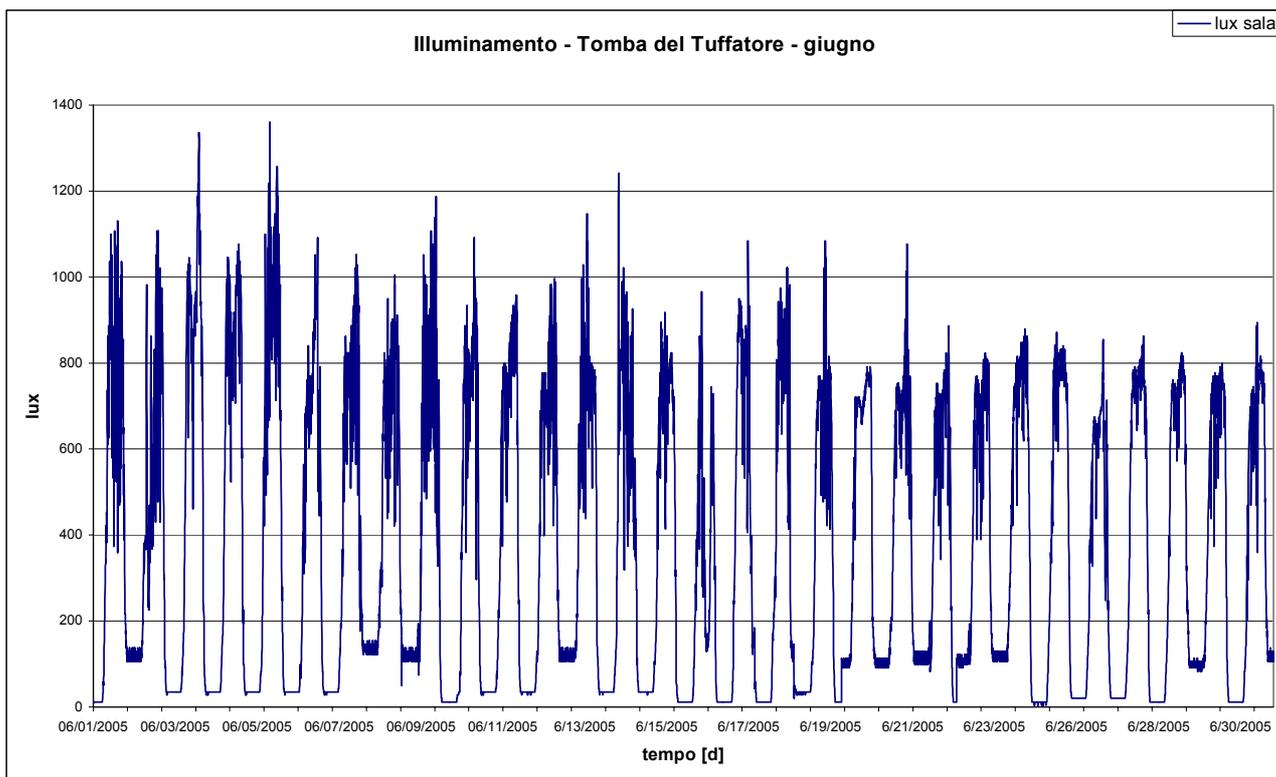


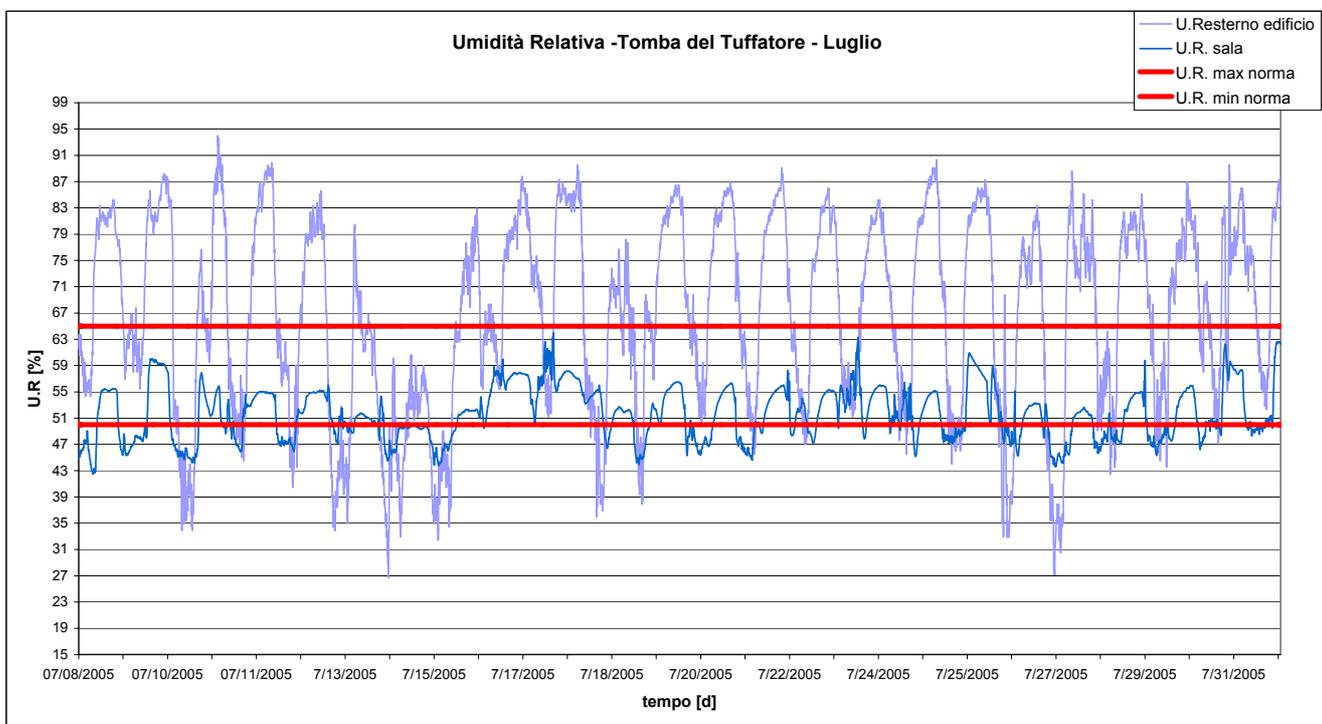
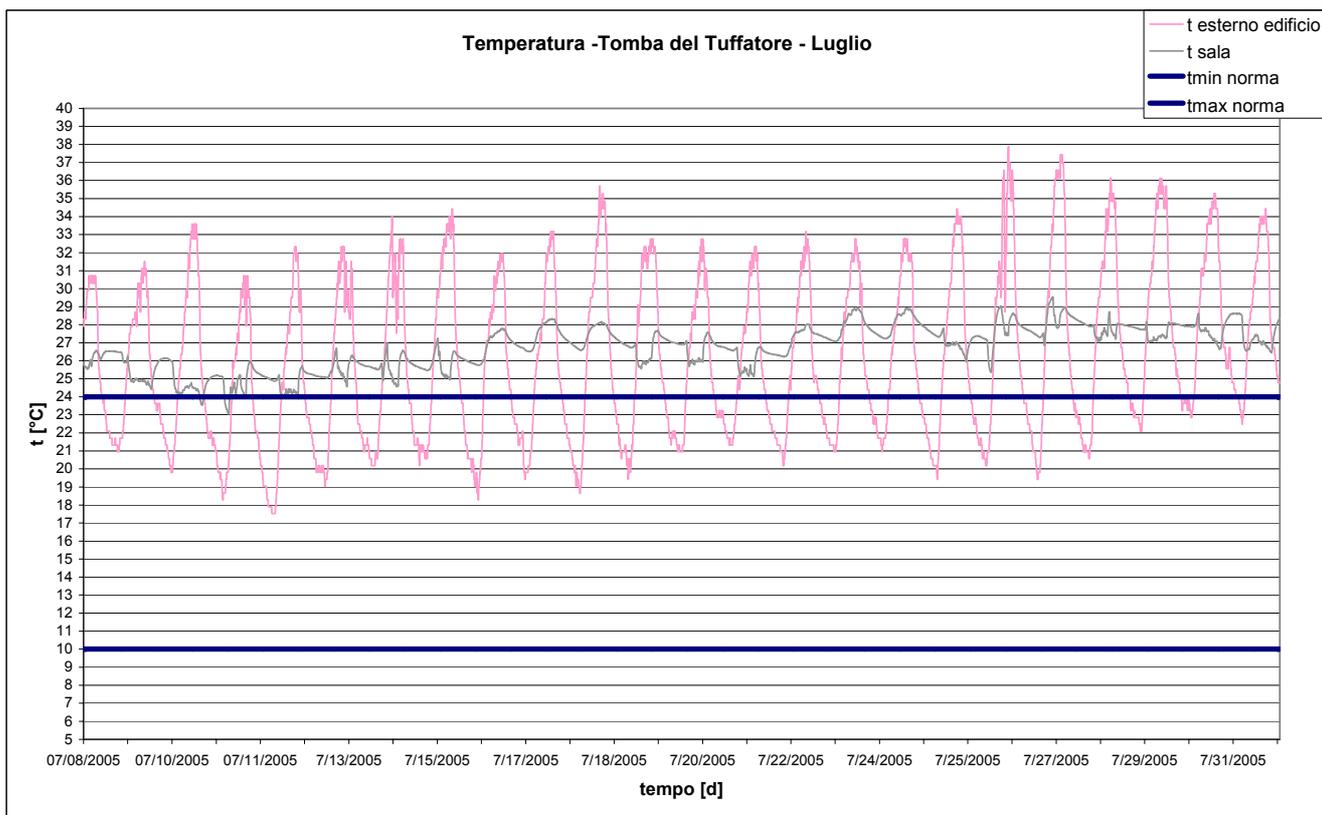


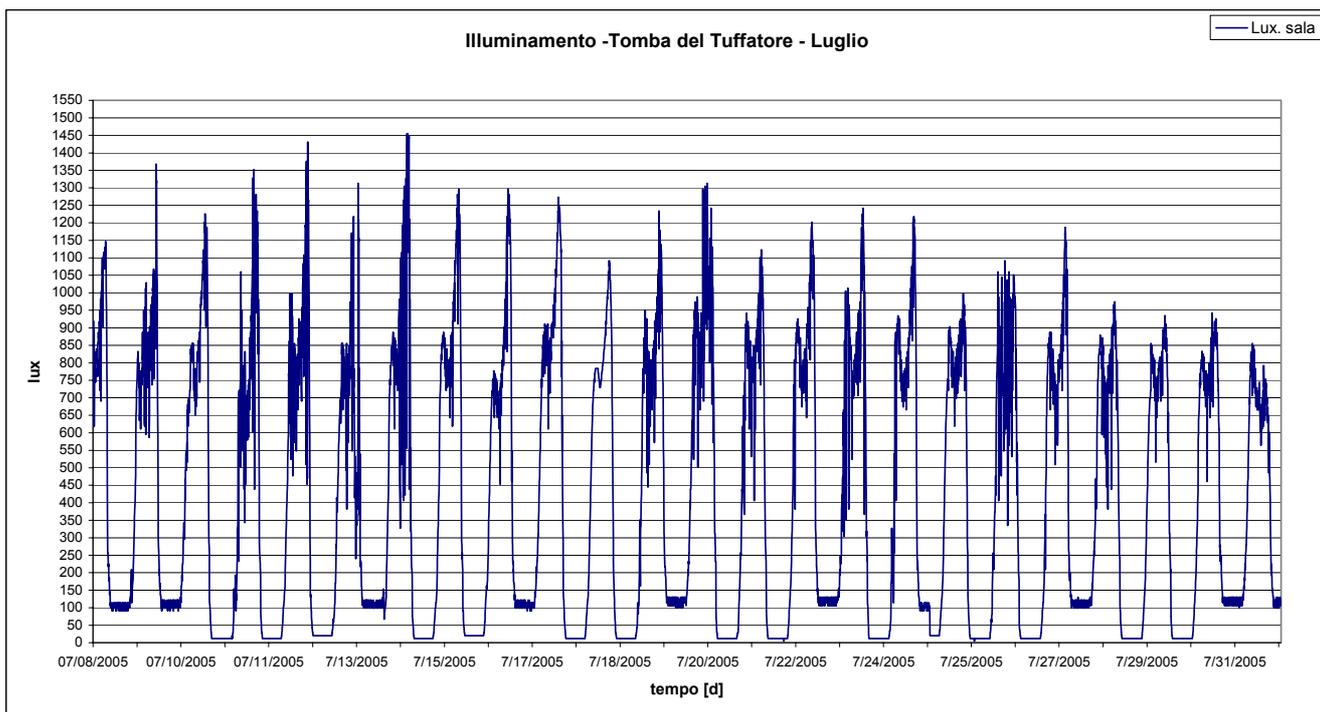


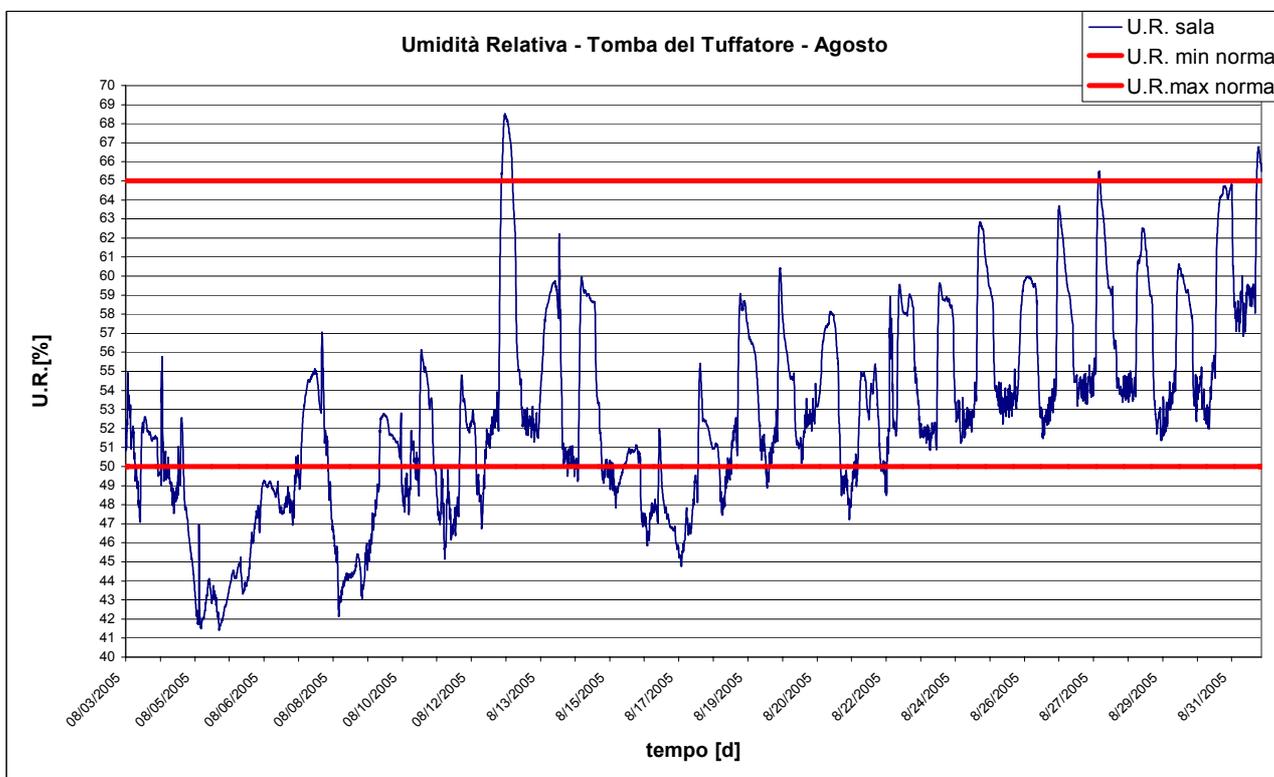
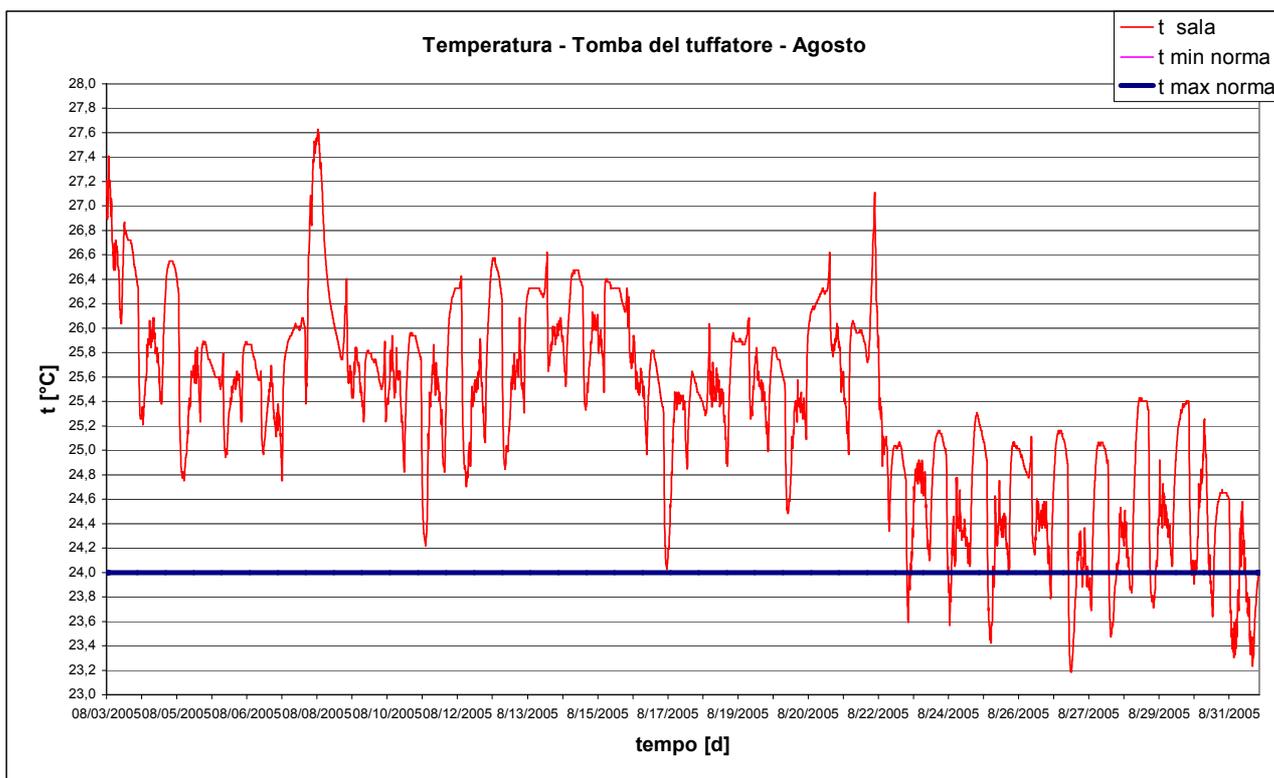


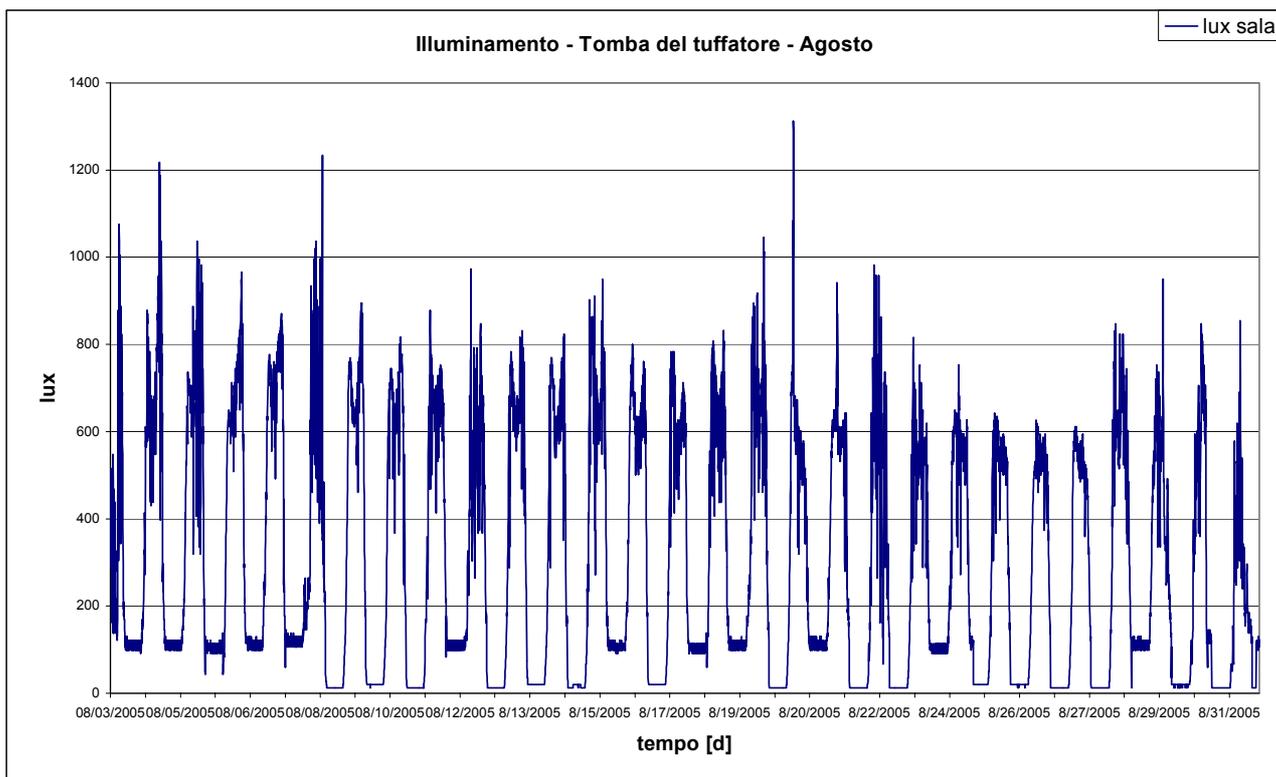


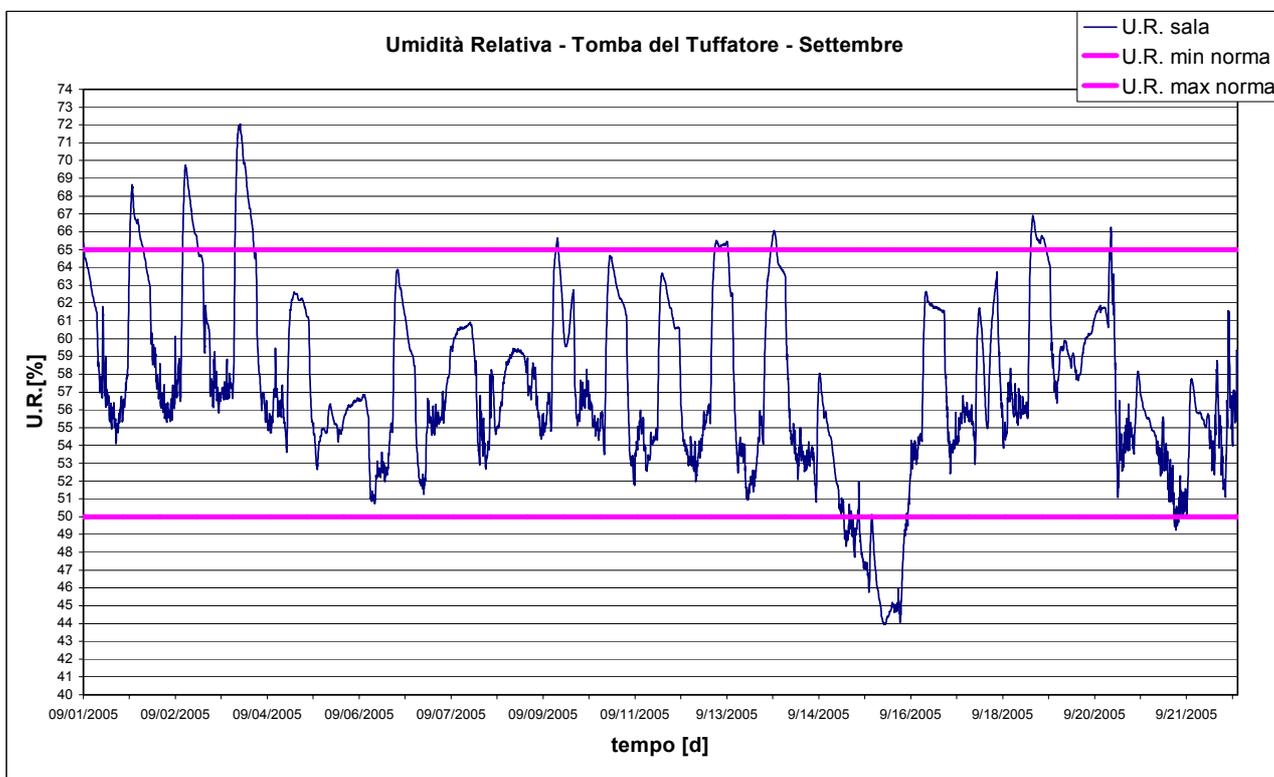
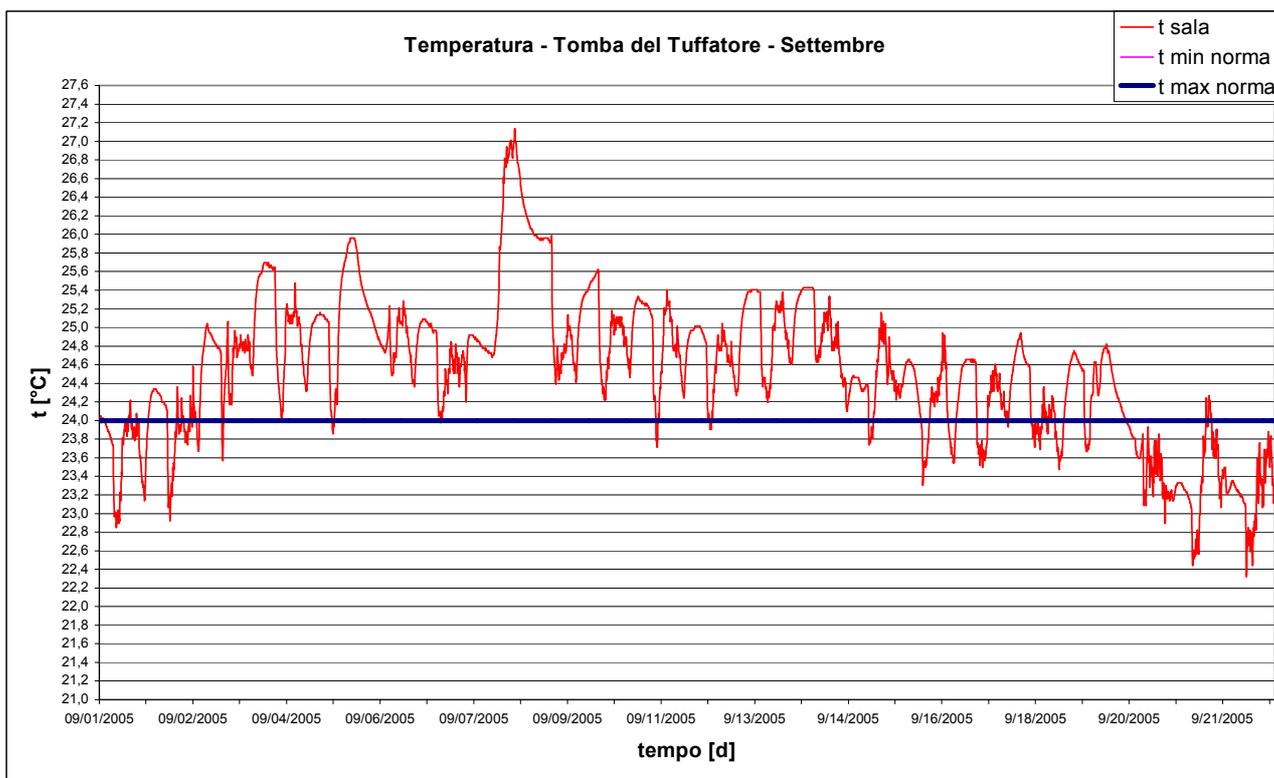


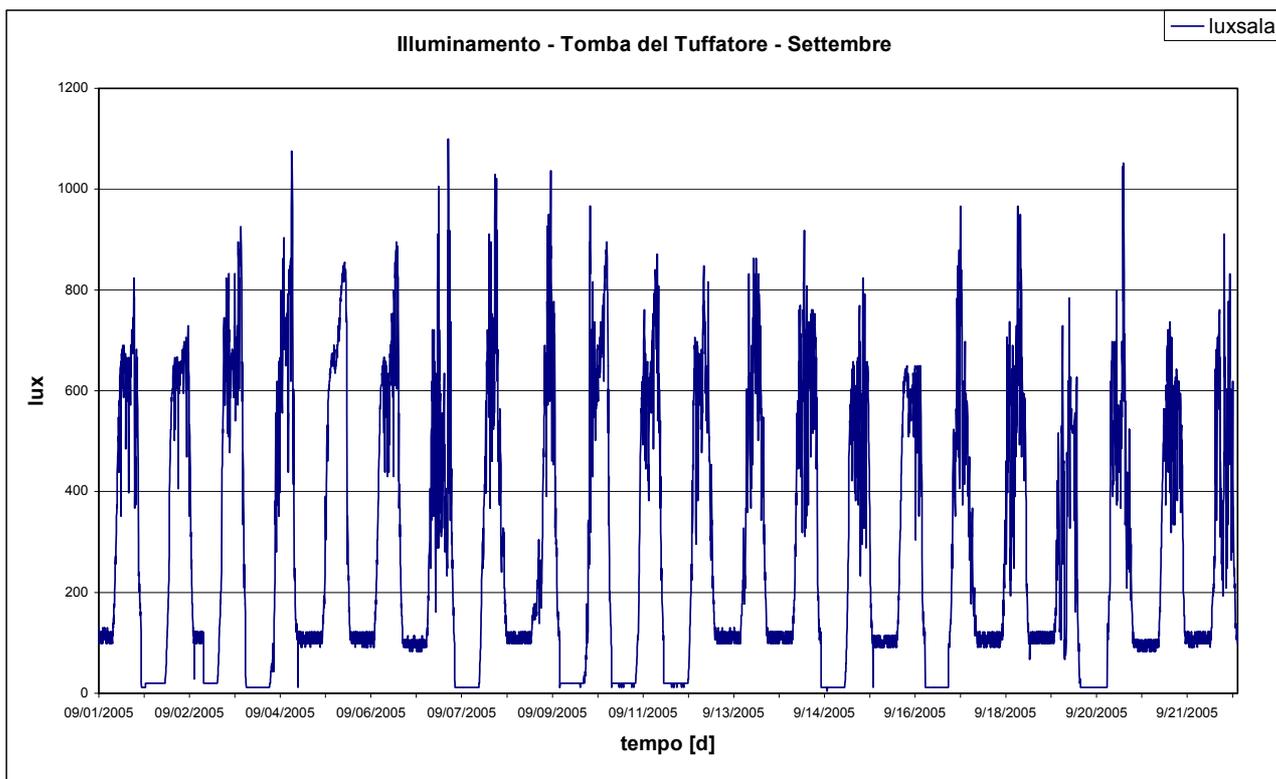


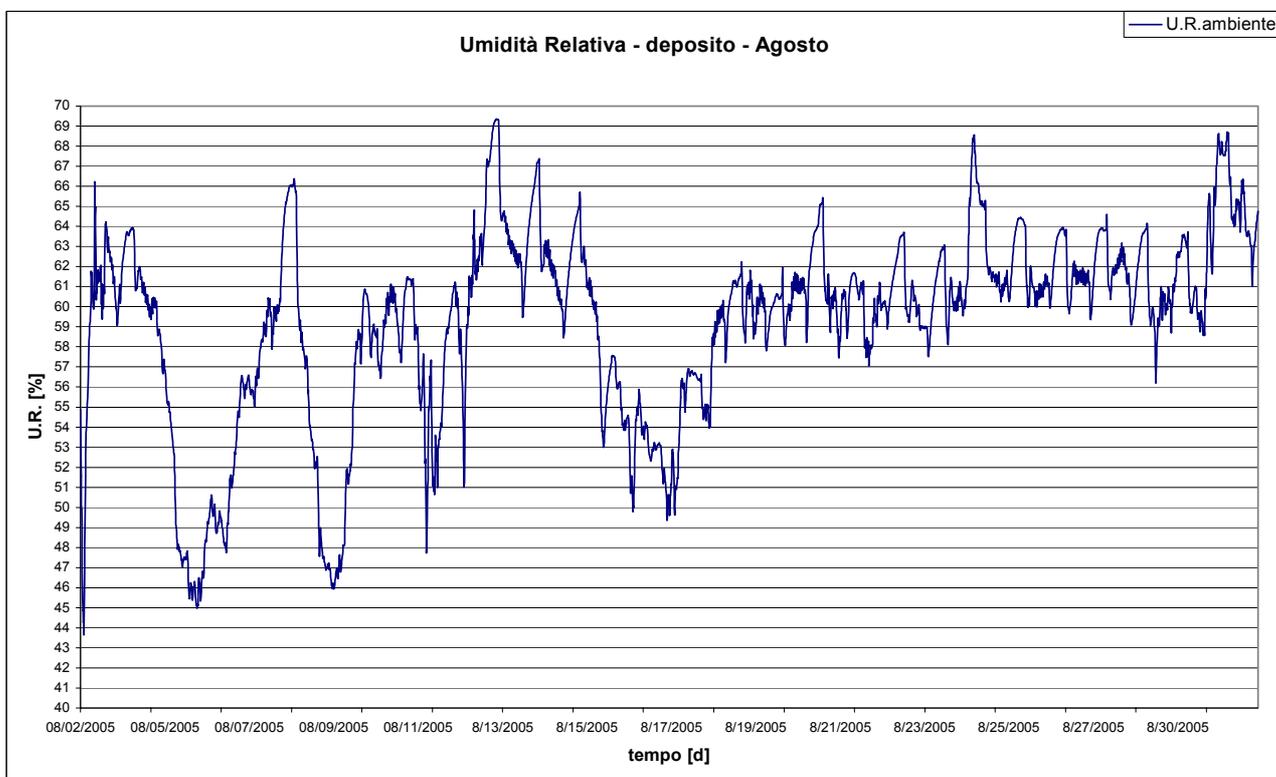
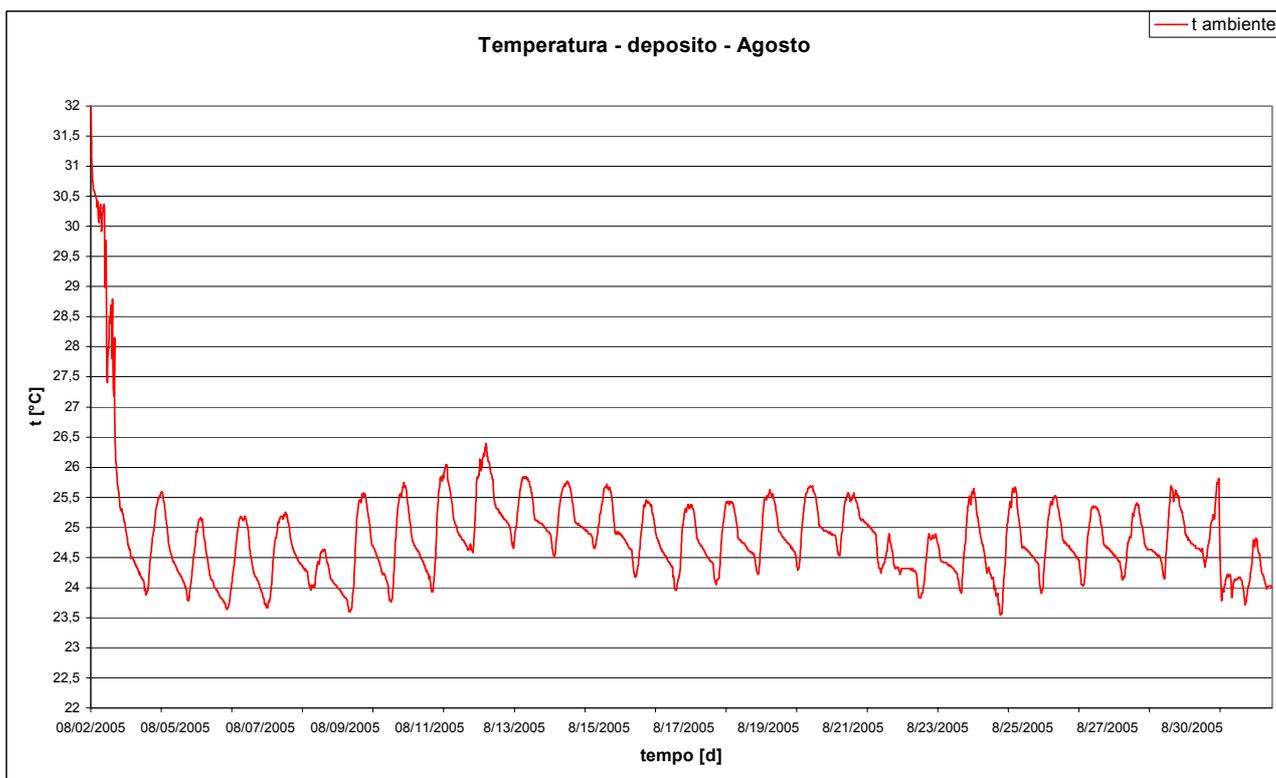


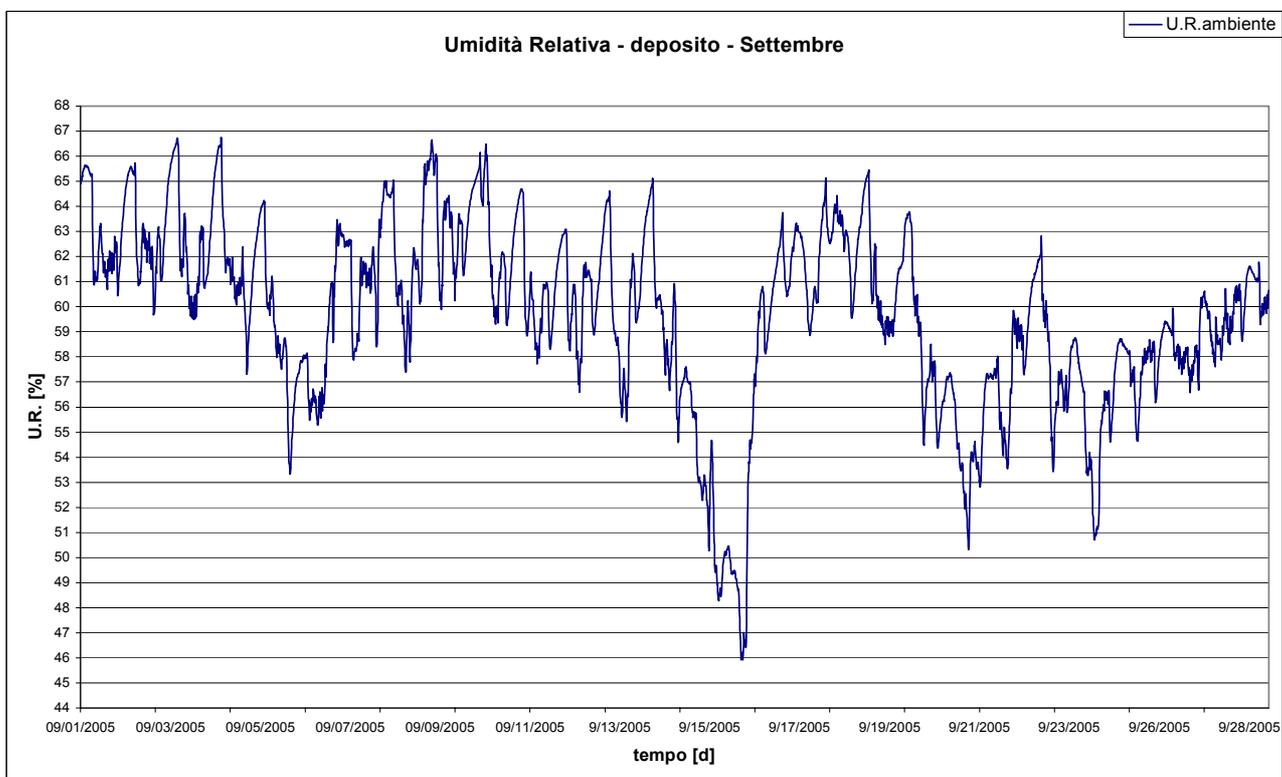
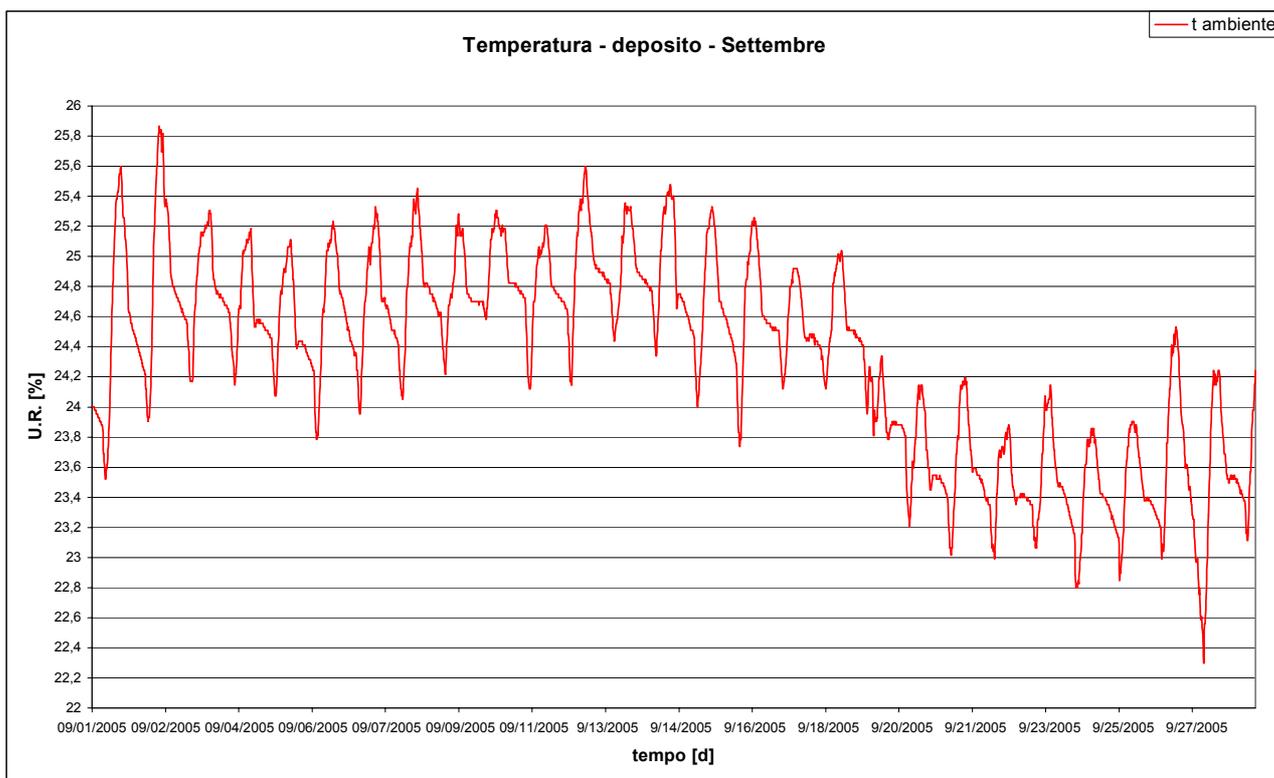












4.3.3 Inquinanti

Presso il museo Archeologico Nazionale di Paestum è stata effettuata una campagna di misure che prevedeva il rilevamento di alcuni inquinanti in forma gassosa quali SO₂, NO₂, NO, HCl, H₂S e CO, e di particolato. Le misure sono state effettuate sia nelle sale interne dell'edificio che all'esterno. I risultati sono di seguito riportati.

4.3.3.1 Valori misurati il 13/02/04 sala Argenti

Inquinante	Misura [ppm]	Temperatura [C°]	Umidità Relativa [%]	CO ₂ [ppm]
SO ₂	0	18,8	26	760
NO ₂	0,02	17,7	26,9	650
NO	0	17,7	26,3	658
HCl	0	17,6	28,1	745
H ₂ S	0	18,4	25,2	700
CO	0	17,5	29,8	750
O ₃	0	17,7	28,7	740

4.3.3.2 Valori raccomandati per le sostanze inquinanti negli ambienti museali

Fonte bibliografica	Sostanze inquinanti			
	NO ₂	SO ₂	Ozono	Particolato
Thomson, 1986	<10 µg/m ³ (=5,3 ppb)	<10 µg/m ³ (=3,8 ppb)	<2 µg/m ³ (=5,1 ppb)	-
Iwata et al., 2000	<5 ppb	-	<1 ppb	-

(continua)

(segue)

Fonte bibliografica	Sostanze inquinanti			
	NO ₂	SO ₂	Ozono	Particolato
M.BB.CC., 2001 ² (anche NISO TR01/95)	5-10 ppb	5-10 ppb	5-10 ppb	20-30 µg/m ³
M.BB.CC., 2001 ³	<2,5 ppb	<0,4 ppb	<1 ppb	20-30 µg/m ³
National Research Council (US), American National Standards Institute	<5 µg/m ³	<5 µg/m ³	<25 µg/m ³	-
UNI 10586/97	<2 µg/m ³ (=5,1 ppb) (NO _x)	<10 µg/m ³ (=5,3 ppb)	<2 µg/m ³ (=5,1 ppb)	<50 µg/m ³ (PS fine)
Brimblecombe	<2,5 ppb	<0,4 ppb	<1 ppb	rimoz. >95% (>2µm) (PS fine)

4.3.3.3 Risultati della campagna di misure per gli inquinanti gassosi

Il biossido di azoto (NO₂) supera la soglia consigliata

Inquinante	Valore misurato	Valore raccomandato M.BB.CC., 2001	Differenza
NO ₂	20 ppb	2,5 ppb	17,5 ppb

4.3.3.4 Risultati della campagna di misure per il particolato

DATE: Martedì 09-MAR-04

unità di misura = mg/m³

Sala Argenti

LOCATION: 010 TYPE: 10.0 µm - M

12.04.55	0,0000
12.05.05	0,0010
12.05.15	0,0030

(continua)

² Valori consigliati per gli archivi.

³ Valori consigliati per i musei.

(segue)

12.05.25	0,0070
12.05.35	0,0040
12.05.45	0,0010
12.05.55	0,0000
12.06.05	0,0000
12.06.15	0,0000
12.06.25	0,0210
12.06.35	0,0460
12.06.45	0,0510
12.06.55	0,0420
12.07.05	0,0420
12.07.15	0,0350
12.07.25	0,0290
12.07.35	0,0000
12.07.45	0,0000
12.07.55	0,0000
12.08.05	0,0090
12.08.15	0,0190
12.08.25	0,0000
12.08.35	0,0000
12.08.45	0,0000
12.08.55	0,0000
12.09.05	0,0000
12.09.15	0,0000
12.09.25	0,0000
12.09.35	0,0000
12.09.45	0,0000
12.09.55	0,0000
12.10.05	0,0000
12.10.15	0,0000
12.10.25	0,0000
12.10.35	0,0000
12.10.45	0,0000
12.10.55	0,0000
12.11.05	0,0000
12.11.15	0,0000
12.11.25	0,0000
12.11.35	0,0000
12.11.45	0,0000
12.11.55	0,0000
12.12.05	0,0000
12.12.15	0,0000
12.12.25	0,0000
12.12.35	0,0000
12.12.45	0,0000

LOCATION: 011 TYPE: 2.5 μm - S

12.15.07	0,0000
12.15.17	0,0000
12.15.27	0,0000
12.15.37	0,0000
12.15.47	0,0000
12.15.57	0,0000
12.16.07	0,0000
12.16.17	0,0000
12.16.27	0,0000
12.16.37	0,0010
12.16.47	0,0000
12.16.57	0,0000
12.17.07	0,0000
12.17.17	0,0000
12.17.27	0,0000
12.17.37	0,0000
12.17.47	0,0000
12.17.57	0,0000
12.18.07	0,0000
12.18.17	0,0000
12.18.27	0,0000
12.18.37	0,0000
12.18.47	0,0000
12.18.57	0,0000
12.19.07	0,0000

sala CXXXIX (sala vuota con moquette)LOCATION: 012 TYPE: 2.5 μm - S

12.25.22	0,0370
12.25.32	0,0270
12.25.42	0,0330
12.25.52	0,0280
12.26.02	0,0200
12.26.12	0,0020
12.26.22	0,0050
12.26.32	0,0050
12.26.42	0,0050
12.26.52	0,0100
12.27.02	0,0080
12.27.12	0,0200
12.27.22	0,0190

(continua)

(segue)

12.27.32	0,0200
12.27.42	0,0240
12.27.52	0,0110
12.28.02	0,0360
12.28.12	0,0350
12.28.22	0,0020
12.28.32	0,0000
12.28.42	0,0000
12.28.52	0,0000
12.29.02	0,0000
12.29.12	0,0000
12.29.22	0,0000
12.29.32	0,0000

LOCATION: 013 TYPE: 10.0 μm – M

12.31.40	0,0000
12.31.50	0,0350
12.32.00	0,0970
12.32.10	0,0690
12.32.20	0,0610
12.32.30	0,0450
12.32.40	0,0420
12.32.50	0,0420
12.33.00	0,0420
12.33.10	0,0040
12.33.20	0,0000
12.33.30	0,0020
12.33.40	0,0090
12.33.50	0,0050
12.34.00	0,0050
12.34.10	0,0000
12.34.20	0,0160
12.34.30	0,0000
12.34.40	0,0170
12.34.50	0,0710

LOCATION: 014 TYPE: T.S.P. - L

12.36.03	0,0000
12.36.13	0,0000
12.36.23	0,0000
12.36.33	0,0000
12.36.43	0,0000
12.36.53	0,0000
12.37.03	0,0000
12.37.13	0,0000
12.37.23	0,0000
12.37.33	0,0230
12.37.43	0,2292
12.37.53	0,2750
12.38.03	0,1833
12.38.13	0,1174
12.38.23	0,1500
12.38.33	0,1396
12.38.43	0,0920
12.38.53	0,0260
12.39.03	0,0010
12.39.13	0,0050
12.39.23	0,4194
12.39.33	0,5354
12.39.43	0,2958
12.39.53	0,1340
12.40.03	0,0760
12.40.13	0,0230
12.40.23	0,0130
12.40.33	0,0100
12.40.43	0,0180
12.40.53	0,0180
12.41.03	0,0870

LOCATION: 015 TYPE: 10.0 μm - M

12.56.24	0,2111
12.56.34	0,2063
12.56.44	0,2000
12.56.54	0,1299
12.57.04	0,0979
12.57.14	0,0722
12.57.24	0,0990
12.57.34	0,0990
12.57.44	0,0990

(continua)

(segue)

12.57.54	0,0100
12.58.04	0,0110
12.58.14	0,0320
12.58.24	0,0722
12.58.34	0,0972
12.58.44	0,1056
12.58.54	0,0930
12.59.04	0,0430
12.59.14	0,0590
12.59.24	0,0760
12.59.34	0,0970
12.59.44	0,1090
12.59.54	0,1056
13.00.00	0,1104

Nessun valore supera la soglia.

5. LA NORMATIVA

5.1 IMPORTANZA E RUOLO DELLA STANDARDIZZAZIONE

La gestione dei beni affidati ad un museo non sempre è supportata da un idoneo piano di prevenzione dei rischi ai quali tali oggetti possono essere sottoposti.

Tuttavia la redazione di un programma di conservazione che preveda tutte le possibili situazioni di pericolo e consideri tutti i fattori che possono generare o accelerare processi di degrado è un compito che non può essere affidato alla singola responsabilità del conservatore.

É anche per questo motivo che nell'ultimo decennio, in Italia, si è ritenuto indispensabile procedere alla standardizzazione di quei parametri che direttamente o anche indirettamente possono nuocere alla conservazione degli oggetti, nonché all'ambiente museale nel suo complesso quale luogo privilegiato della fruizione culturale.

Tale standardizzazione chiama in causa un articolato ventaglio di specifiche professionalità per le quali si pone il problema di una composizione dei diversi saperi tecnici in una visione unitaria della conservazione che pone in primo piano la figura del curatore-manager al quale sempre più si richiede la capacità di sintesi delle diverse esigenze.

Ma cosa vuol dire standardizzare l'ambiente museale?

A volte l'argomento trattato dalle norme ha un impatto così determinante che le Pubbliche Amministrazioni fanno riferimento ad esse richiamandole nei documenti legislativi e trasformandole, quindi, in documenti cogenti. Nel campo dei beni culturali ed in particolare per quanto riguarda l'ambiente di conservazione il processo di standardizzazione non può limitarsi alla redazione di ferree regole universalmente valide ma deve introdurre il concetto di standard come un insieme di criteri, indicazioni e provvedimenti necessari per un idoneo programma conservativo.

È indubbio, infatti, che in ambito museale creare uno standard non ha lo stesso significato che siamo abituati a riscontrare in altri settori, ad esempio non è sempre possibile associare ad un antico manufatto dei validi ed universali parametri ambientali di riferimento e un protocollo di misura per il semplice fatto che ogni singolo bene è unico e particolare, possiede un proprio curriculum vitae ed è in pratica è oggetto tutt'altro che "standard".

Ciò premesso, e sottolineando la difficoltà che esiste attualmente nel reperire tale tipo di documentazione, è possibile diversificare gli standard esistenti a livello internazionale in:

- legislativi
- normativi
- etici o deontologici
- tecnici
- procedurali e linee guida

per i quali gli obiettivi principali sono:

- definire il museo, indicandone le finalità e le caratteristiche fondamentali;
- creare uniformità, facendo convergere le differenti norme dei diversi stati in un'opera unitaria di standardizzazione;

- dare un senso di professionalità;
- fornire uno strumento di aiuto, facilmente accessibile e trasparente, ai responsabili e ai curatori per il controllo dei requisiti minimi da possedere ai fini di un'adeguata conservazione;
- offrire un protocollo che regoli gli scambi internazionali;
- fornire indicazioni/specifiche che siano efficaci ed al contempo realizzabili;
- fornire indicazioni (ad es. per la redazione di un piano d'emergenza) per affrontare situazioni di particolare rischio (ad es. in caso di guerra o calamità naturali).

Nello specifico dei parametri ambientali gli standard hanno lo scopo di:

- identificare i parametri di rischio;
- fornire metodi di valutazione;
- offrire criteri di scelta;
- suggerire valori ottimali per i diversi materiali;
- dare indicazioni sulle tipologie di danno che possono verificarsi;
- dare disposizioni sulle modalità di esposizione e sui materiali adatti agli allestimenti;
- regolamentare le procedure di monitoraggio ambientale (data la presenza di un vasto mercato in questo settore);
- fornire indicazioni sulle soluzioni derivanti dal monitoraggio;
- creare archivi di dati per ottenere maggiori risultati rispetto al rischio danno nel tempo.

5.2 ELENCO NORME E LINEE GUIDA

Codici etici e deontologici

I codici etici e deontologici indicano gli standard minimi ai quali possono ragionevolmente attenersi, nella condotta e nell'assolvimento delle loro funzioni, i professionisti museali in ogni parte del mondo e svolgono un ruolo quasi giuridico laddove la legislazione vigente sia lacunosa o inesistente in materia; quelli da noi reperiti sono i seguenti:

a. *Code of Ethics for Museums* dell'ICOM (International Council of Museums)

L'ICOM Code of Professional Ethics fu adottato all'unanimità in occasione del 15° meeting della General Assembly dell' ICOM in Buenos Aires, nel 1986. Fu poi emendato dalla medesima Assemblea in Barcellona nel 2001, e rivisto al 21° meeting in Seoul nel 2004.

Per quanto riguarda la tutela e la conservazione delle collezioni museali nel codice è specificato che:

- tutti gli oggetti accolti in via temporanea o permanente siano provvisti di una certificazione che consenta di conoscerne la provenienza e ne faciliti l'identificazione;
- ogni oggetto dovrebbe essere accompagnato da idonea documentazione contenente, tra l'altro, l'analisi della sua composizione, il rilievo dello stato di conservazione e la descrizione di ogni deterioramento;
- si crei o mantenga un ambiente atto a proteggere le collezioni, siano esse in deposito, in esposizione o in corso di trasporto. Tutto ciò tenendo anche conto delle eventuali richieste avanzate dalle comunità da cui l'oggetto proviene;
- sia riconosciuta e rispettata l'integrità e l'autenticità culturale e fisica di ciascun esemplare o collezione e se ne garantisca una corretta conservazione avvalendosi qualora lo si ritenesse necessario anche di professionisti ed esperti anche esterni al museo.

b. *Code of Ethics for Museums* dell'AAM (American Association of Museums)

Il codice dell'American Association of Museums prevede tra l'altro che:

- le collezioni custodite nei musei siano tenute legalmente, registrate e documentate e naturalmente siano protette e preservate;
- l'acquisizione, la disposizione, e la concessione in prestito delle collezioni sia condotta nel rispetto di determinate regole;
- ci si doti di un appropriato programma di cura, mantenimento, utilizzazione ed esposizione delle collezioni.

L'AAM è l'Associazione che si occupa negli Stati Uniti dell'Accreditation dei musei, un programma di certificazione di qualità sviluppato e gestito dagli operatori professionali del settore che promuove la rispondenza dei musei alla funzione di "pubblico servizio museale".

c. *Code of Ethics and Guidelines for Practice* dell'AIC (The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works)

Alcune delle indicazioni riportate nel documento riguardano:

- i principi etici da assumere per un'appropriata condotta professionale dei responsabili della conservazione;
- come e in quali casi eseguire esami di tipo scientifico sugli oggetti;
- la conservazione preventiva;
- i trattamenti ai materiali;
- la documentazione da allegare agli oggetti;
- le situazioni d'emergenza.

d. *Code Of Ethics And Code Of Practice* dell'Australian Institute for Conservation of Cultural Material

In questo documento sono tra l'altro riportati:

- i principi di comportamento per tutti coloro che sono coinvolti nella conservazione dei beni culturali;
- linee guida sulla protezione e conservazione degli oggetti;
- regole da seguire quando si debbano effettuare indagini scientifiche sui beni conservati;
- raccomandazioni per ottenere appropriate condizioni di conservazione, esposizione, manipolazione e movimentazione (comprese le procedure di immagazzinamento, imballaggio e trasporto).

e. *Code of Ethics and Rules of Practice* dell'United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (UKIC)

Anche questo codice prevede regole di comportamento cui dovrebbero attenersi le diverse professionalità coinvolte nel settore della conservazione; per quanto attiene la cura delle collezioni è previsto, tra l'altro, che:

- si garantiscano appropriate condizioni ambientali ed altri requisiti per l'immagazzinamento e l'esibizione e siano incoraggiate procedure appropriate per la manipolazione, l'imballaggio ed il trasporto dei beni;
- siano seguiti standard e protocolli per le investigazioni di tipo scientifico sugli oggetti;
- sia fatta, prima di ogni trattamento a scopo conservativo/restaurativo, un'adeguata valutazione della necessità ed idoneità dell'intervento;
- la scelta di materiali e metodi per i diversi trattamenti sia fatta sulla base delle migliori conoscenze disponibili e solo dopo aver escluso la possibilità di reazioni dannose dovute ad esempio ad incompatibilità fra i materiali;

- gli interventi di tipo restaurativo devono essere reversibili e non modificare le caratteristiche fisiche o estetiche dei manufatti.

Standard legislativi

Italiani

Il Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 “Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei”, pubblicato sul supplemento ordinario alla G.U. n. 244, 19 ottobre 2001, tocca gran parte degli aspetti relativi alla conservazione. In generale, stabilisce l’adozione di un’idonea politica di prevenzione, assicurando in tutti gli ambienti che ospitano le collezioni idonee condizioni ambientali e adeguata manutenzione, agli oggetti che costituiscono le collezioni specifiche misure di protezione dai rischi, regolare verifica degli standard di conservazione, tempestivi interventi atti ad assicurarne l’integrità e idonee misure di sicurezza.

Ancora, il D.M. stabilisce che le Regole Tecniche¹ e le Norme Tecniche² sono differenziate a seconda dell’obiettivo.

Per quanto riguarda nello specifico il monitoraggio delle condizioni ambientali, questo viene considerato elemento imprescindibile ai fini della conservazione preventiva; in particolare, il Decreto prevede che *“Data l’importanza dei fattori ambientali ai fini della conservazione dei manufatti, il museo deve procedere al periodico rilevamento delle condizioni termoigrometriche, luminose e di qualità dell’aria degli ambienti in cui si trovano i manufatti stessi, dotandosi di strumentazioni di misura fisse o mobili oppure affidando il servizio a terzi responsabili. Il responsabile della conservazione deve inoltre redigere, ricorrendo a competenze professionali specifiche, un rapporto tecnico finalizzato ad evidenziare l’influenza*

¹ quadro di riferimento di disposizioni legislative nazionali

dell'ambiente sullo stato di conservazione dei manufatti e contenente indicazioni circa i provvedimenti necessari al raggiungimento delle condizioni ottimali per la conservazione”.

Il D.M. affronta anche il problema della presenza di visitatori che, se in numero elevato possono alterare la stabilità delle condizioni termoigrometriche, prescrivendo che in caso di particolari affollamenti i parametri ambientali vengano registrati in continuo.

Il Decreto si occupa anche, in qualche modo, delle condizioni di trasporto delle opere, stabilendo che negli imballaggi sia prevista la possibilità di avere sonde che misurino i parametri di interesse e che il trasporto avvenga con mezzi che garantiscano una sostanziale stabilità delle condizioni microclimatiche.

Così come previsto anche dalla norma UNI 10829, il D.M. fa riferimento ad una “scheda tecnica ambientale”, contenente informazioni sulle condizioni ambientali rilevate e sulle misure da adottare per il raggiungimento delle condizioni ritenute ottimali per la conservazione.

Stranieri

L'unico standard reperito è francese; si tratta della Legge n° 2002-5 del 4 gennaio 2002 relativa ai “Musées de France” (NOR: MCCX0000178L) e del relativo decreto di attuazione n° 2002-628 del 25 aprile 2002.

Tra i 30 articoli della legge si fa riferimento a:

- come far parte dei Musées de France;
- la missione dei Musei di Francia;
- le qualifiche richieste per esercitare la responsabilità delle attività scientifiche e di restauro;
- le disposizioni su prestiti e depositi.

² norme di buona tecnica, formalmente volontarie, sostanzialmente obbligatorie in quanto la loro osservanza conferisce la conformità alla regola dell'arte

La normativa**Italiana**

A testimonianza del fatto che in Italia l'interesse normativo per i Beni Culturali è notevole, a partire dalla fine degli anni '90 l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione, unico tra gli Enti normatori nazionali, ha emanato una serie di norme riportate in Tabella 5.1.

La Commissione NorMaL, di cui si parlerà nel paragrafo successivo ha pubblicato i documenti riportati in Tabella 5.2.

Documenti NorMaL

Le Normal 5 propongono metodi di misura della concentrazione di alcuni inquinanti, dei parametri termoigrometrici indoor e outdoor, e di alcuni parametri meteorologici.

Tabella 5.1 - Normativa UNI nel settore dei Beni Culturali.

numero	anno	titolo
condizioni microclimatiche		
10586	1997	Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti.
10829	1999	Beni di interesse storico artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi
10969	2002	Beni culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni
11120	2004	Beni culturali - Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti
11131	2005	Beni culturali - Misurazione in campo dell'umidità dell'aria
ceramica		
10379	1998	Beni culturali - Tecnologia ceramica - Termini e definizioni
11084	2003	Beni culturali - Materiali ceramici - Caratterizzazione
malte		
10924	2001	Beni culturali - Malte per elementi costruttivi e decorativi - Classificazione e terminologia
11088	2003	Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Caratterizzazione chimica di una malta - Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili

(continua)

Tabella 5.1 - (segue)

numero	anno	titolo
11089	2003	Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte
11139	2004	Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera
11140	2004	Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica
manufatti lignei		
11118	2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose
11119	2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera
11130	2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Terminologia del degradamento del legno
11138	2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi
11141	2004	Beni culturali - Manufatti lignei - Linee guida per la datazione dendrocronologica del legno
materiali lapidei		
10813	1999	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Verifica della presenza di microrganismi fotosintetici su materiali lapidei mediante determinazione spettrofotometrica UV/Vis delle clorofille a, b e c
10859	2000	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità.
10921	2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Prodotti idrorepellenti - Applicazione su provini e determinazione in laboratorio delle loro caratteristiche
10922	2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di sezioni sottili e sezioni lucide di materiali lapidei colonizzati da biodeteriogeni
10923	2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di preparati biologici per l'osservazione al microscopio ottico
10925	2001	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'irraggiamento con luce solare artificiale
11060	2003	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti
11085	2003	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale
11086	2003	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua di equilibrio
11087	2003	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto di sali solubili

(continua)

Tabella 5.1 - (segue)

numero	anno	titolo
11121	2004	Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione in campo del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio
strati pittorici		
10945	2001	Beni culturali - Caratterizzazione degli strati pittorici - Generalità sulle tecniche analitiche impiegate.

Tabella 5.2 - Documenti NorMaL pubblicati tra il 1980 ed il 1993 e non ritirati.

numero	anno	titolo
condizioni microclimatiche		
5	81	Misura dei Parametri Ambientali
5	82	Misura dei Parametri Ambientali
5	83	Misura dei Parametri Ambientali
5	86	Misura dei Parametri Ambientali
5	87	Misura dei Parametri Ambientali
39	93	Rilevamento della Carica Microbica dell'Aria
malte		
23	86	Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte
23	87	Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte (<i>Sostituita da UNI 10924</i>)
26	87	Caratterizzazione delle Malte da Restauro
27	88	Caratterizzazione di una: Malta
29	88	Misura dell'Indice di Asciugamento (Drying Index)
30	89	Metodi di Controllo del Biodeterioramento
31	89	Determinazione della Calce e della Magnesia Residue
materiali lapidei		
1	80	Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapedei: Lessico
1	88	Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapedei: Lessico
3	80	Materiali Lapedei: Campionamento. (<i>Ristampata nel 1988</i>)
4	80	Distribuzione del Volume dei Pori in Funzione del loro Diametro.
6	81	Caratterizzazione di Materiali Litici di Cava: Schema di Scheda.
7	81	Assorbimento d'Acqua per Immersione Totale - Capacità di Imbibizione
8	81	Esame delle Caratteristiche Morfologiche al Microscopio Elettronico a Scansione (SEM)
9	82	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Isolamento in Coltura
9	88	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Isolamento in Coltura
10	82	Descrizione Petrografica dei Materiali Lapedei Naturali.
11	82	Assorbimento d'Acqua per Capillarità - Coefficiente di Assorbimento Capillare

(continua)

Tabella 5.2 - (segue)

numero	anno	titolo
11	85	Assorbimento d'Acqua per Capillarità - Coefficiente di Assorbimento Capillare (<i>Sostituita da UNI 1085</i>)
12	83	Aggregati Artificiali di Clasti e Matrice Legante non Argillosa: Schema di Descrizione
13	83	Dosaggio dei Sali Solubili. Sostituita da UNI 11087
14	83	Sezioni Sottili e Lucide di Materiali Lapidari: Tecnica di Allestimento
15	84	Manufatti e Aggregati a Matrice Argillosa: Schema di Descrizione. (<i>Sostituita da UNI 11084</i>)
16	84	Caratterizzazione di Materiali Lapidari in Opera e del loro Stato di Conservazione: Sequenza Analitica
17	84	Elementi Metrologici e Caratteristiche Dimensionali: Determinazione Grafica
18	84	Rilevamento della Funzionalità degli Impianti Tecnici: Schema di Scheda
19	85	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Indagine Visiva (<i>Sostituita da UNI 10923</i>)
20	85	Interventi Conservativi: Progettazione, Esecuzione e Valutazione Preventiva. (<i>Ristampata nel 1996</i>)
21	85	Permeabilità al Vapor d'Acqua
22	86	Misura della Velocità di Propagazione del Suono
24	86	Metodologia di Rilevamento e di Analisi della Vegetazione
25	87	Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Isolamento e di Mantenimento in Coltura Pura
28	88	Composizione Chimica dei Materiali Lapidari
40	93	Misura Ponderale di Umidità in Murature. (<i>Sostituita da UNI 11085</i>)
41	93	Misura Ponderale di Umidità in Superfici Murarie Dipinte. (<i>Sostituita da UNI 11085</i>)
varie		
32	89	Determinazione Gas-Volumetrica della CO ₂
33	89	Misura dell'Angolo di Contatto
34	91	Analisi di Materiali "Argillosi" mediante XR
35	91	Caratterizzazione di Biocidi: Schema di Scheda
36	92	Glossario per l'Edilizia Storica nei Trattati dal XV al XIX Secolo
37	92	Trattamenti Biocidi: Schema di Scheda per Archiviazione Dati
38	93	Valutazione Sperimentale dell'Efficacia dei Biocidi
42	93	Criteri Generali per l'applicazione delle PnD
43	93	Misure colorimetriche di superfici opache
44	93	Assorbimento d'Acqua a Bassa Pressione

Le norme UNI

La norma 10829 del 1999, elaborata dal Comitato Termotecnico Italiano presenta una metodologia di misurazione delle grandezze termoigrometriche e

illuminotecniche ai fini della conservazione di beni di interesse storico-artistico; inoltre, fornisce indicazioni sull'elaborazione delle misure per una valutazione finalizzata al contenimento dei processi di degrado ma non definisce assolutamente "i criteri e i metodi per tale valutazione, che è affidata ai responsabili ed agli esperti della conservazione degli oggetti in questione".

La norma 10969 del 2002 ha lo scopo di fornire linee guida per la scelta e il controllo del microclima finalizzato alla conservazione dei beni culturali in ambienti interni, quali musei, gallerie, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici.

La norma 10856 del 1997 definisce i parametri microclimatici (grandezze e valori limite) per gli ambienti di conservazione dei documenti grafici (costituiti essenzialmente da materiale cartaceo e membranaceo) e le caratteristiche dei loro alloggiamenti in edifici di nuova costruzione o preesistenti. La norma dà anche indicazioni informative sulle strutture murarie, sugli impianti antincendio e sulle cautele da adottarsi durante le misurazioni delle grandezze ambientali.

Le norme 11120 e 11131 sono dedicate alla misurazione dei due parametri termoigrometrici di interesse nella conservazione, rispettivamente alla temperatura, dell'aria e della superficie dei manufatti, e all'umidità dell'aria.

Straniera

A livello internazionale non sembra esserci grande attività normativa rispetto al problema della conservazione: nel catalogo dell'ISO (International Standardization Organization) non esistono norme per questo settore, se non standard specifici su materiali fotografici, ed una norma che indica i requisiti generali di un luogo adibito alla conservazione a lungo termine di materiali di archivio e di biblioteca. Quest'ultima norma fornisce indicazioni relative all'illuminazione, alla ventilazione e alla qualità dell'aria e, per quanto riguarda i valori termoigrometrici riporta in un'appendice informativa i dati

climatici consigliati per i diversi materiali, poiché, come viene specificato, non esistono valori standard universalmente accettati per una conservazione a lungo termine. I riferimenti normativi sono riportati in Tabella 5.3.

Tabella 5.3 - Norme ISO sulla conservazione.

numero	anno	titolo
18902	2001	Imaging materials - Processed photographic films, plates and papers - Filing enclosures and storage containers
18911	2000	Imaging materials. Processed safety photographic films. Storage practices
18918	2000	Imaging materials - Processed photographic plates - Storage practices
18920	2000	Imaging materials. Processed safety photographic reflection prints. Storage practices
18923	2000	Imaging materials -- Polyester-base magnetic tape -- Storage practices
18925	2002	Imaging materials - Optical disc media - Storage practices
18927	2002	Imaging materials - Recordable compact disc systems - Method for estimating the life expectancy based on the effects of temperature and relative humidity
18928	2002	Imaging materials - Unprocessed photographic films and papers - Storage practices
18931	2001	ISO/TR Imaging materials - Recommendations for humidity measurement and control
11799	2003	Storage requirements for archive and library materials

La stessa situazione si verifica anche a livello nazionale in alcuni Paesi i cui Enti normativi nazionali hanno pubblicato norme riguardanti la conservazione di materiali particolari, in genere documenti cartacei e fotografici. Per esempio, la BS³ 5454, spesso presa come riferimento nella conservazione dei beni culturali, o l'ANSI⁴ Z39.79, che costituisce una guida per bibliotecari, archivisti e tutti coloro che si occupano di esposizioni di materiale librario, in quanto fornisce i criteri per ridurre il degrado dovuto ai parametri ambientali. In Tabella 5.4 sono riportati i riferimenti normativi reperiti.

Europea

CEN/TC 346 Conservazione dei Beni Culturali

³ British Standard

⁴ dell'American National Standards Institute

Ad ulteriore conferma dell'interesse di creare standard internazionali anche nel settore dei beni culturali, va registrata la recente costituzione del comitato tecnico europeo CEN/TC 346 N.2: Conservation of Cultural Property, che ha il compito di produrre norme tecniche, linee guida e norme sperimentali sulla terminologia e sui metodi di prova e di analisi impiegati per la caratterizzazione tecnico-scientifica dei materiali e dei diversi processi di deterioramento dei beni culturali. Il comitato si occuperà inoltre dello studio dei metodi di prova per la valutazione dei requisiti e delle caratteristiche dei prodotti e delle tecnologie utilizzati negli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

I cinque Gruppi di Lavoro in cui è suddiviso il CEN/TC 346 sono i seguenti:

1. il Gruppo di Lavoro WG1 Linee, Guida e Terminologia, che ha la responsabilità di produrre linee guida che definiscano la pianificazione degli interventi conservativi e di studiare norme sulla terminologia ed il lessico del degrado dei beni mobili ed immobili;
2. il Gruppo di Lavoro WG2, Materiali costituenti i manufatti, che si occupa della pubblicazione di norme tecniche sulla caratterizzazione dei materiali costituenti i beni culturali e sui relativi metodi di prova ed analisi, inclusa la valutazione dello stato di conservazione;
3. il Gruppo di Lavoro WG3, Interventi conservativi, che ha il compito di redigere documenti tecnici sulla valutazione delle prestazioni dei prodotti e dell'adeguatezza delle metodologie utilizzate nel restauro e nella manutenzione dei beni culturali;
4. il Gruppo di Lavoro WG4, Ambiente, che è incaricato di produrre linee guida e norme relative ai controlli delle variabili ambientali e alla misurazione delle condizioni ambientali, nonché alle interazioni ambiente/manufatto;

5. il Gruppo di Lavoro WG5, Imballaggio e trasporto, che si occupa di norme che stabiliscano i requisiti per i contenitori per l'esposizione, l'imballaggio ed il trasporto dei manufatti.

Tabella 5.4 - Norme degli Enti Normativi nazionali stranieri sulla conservazione.

ente	numero	anno	titolo
ANSI/NISO	Z39.79	2001	Environmental Conditions for Exhibiting Library and Archival Materials
ANSI	IT9.2	1991	Imaging media-Photographic Processed Films, Plates, and Papers - Filing Enclosures and Storage Containers.
NISO	TR01	1995	Environmental Guidelines for the Storage of Paper Records
BS	5454	2000	Recommendations for the Storage and Exhibition of Archival Documents
BS	4971	2002	Repair and allied processes for the conservation of documents
BS	1153	1992	Recommendations for processing and storage of silver-gelatine-type microfilm
AFNOR5	CG46-CN10Z40L	2002	Prescriptions de conservation des documents graphiques et photographiques dans le cadre d'une exhibition
NF ISO	11799	2004	Information et documentation - Prescriptions pour le stockage des documents d'archives et de bibliothèques
GOST6	7.49	2002	Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Консервация документов. Термины и определения. Standards relating to information, libraries and publishing. Preservation of documents: terms and definitions.
CAN/CGSB	9.70	2000	Permanence of paper for records, books and other documents. Canadian General Standards Board (CGSB)

Documenti tecnici

L'unico documento tecnico reperito è il capitolo 21 dell'ASHRAE⁷ Applications (ASHRAE, 2003), che stabilisce innanzitutto che, a seconda del tipo di collezione ospitata, l'ambiente deve garantire condizioni ambientali diverse, sottolineando quindi l'importanza della definizione dei campi di variabilità richiesti per le grandezze per la conservazione. Rimarca poi la

⁵ AFNOR Association Française de Normalisation

⁶ GOST State Committee of the Russian Federation for Standardization and Metrology

⁷ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer.

necessità di utilizzare microambienti, quali le vetrine, per collezioni che richiedono condizioni ambientali particolari o comunque ogniqualvolta si intraveda un risparmio in termini energetici ed economici.

Infine, l'ASHRAE divide gli ambienti in 5 categorie, a seconda della classe di controllo, definita in funzione della fluttuazione massima ammissibile per temperatura e umidità e utilizza tali categorie nella classificazione degli edifici in cui le collezioni sono esposte, partendo dal presupposto che non sempre gli ambienti espositivi sono stati progettati e realizzati con questo scopo.

Documenti procedurali e linee guida

Italiani

I documenti dell'Istituto Centrale per il Restauro

Nel 1997 l'ICR ha pubblicato "La carta del rischio del patrimonio culturale", che mette in evidenza la necessità del restauro preventivo, inteso come l'insieme di tutte le azioni mirate a garantire la conservazione del bene culturale, soprattutto in riferimento alla pericolosità del territorio sul quale i beni si trovano. In questo senso, il concetto di restauro preventivo è molto vicino a quello della manutenzione preventiva ed implica evidentemente interventi di tipo multidisciplinare, tesi a definire lo stato di conservazione di un bene e ad intervenire per evitare il degrado.

All'estero

Sono stati reperiti i documenti di seguito riportati, costituiti per lo più da raccomandazioni o manuali di buona pratica per la conservazione e sono rivolti alle diverse professionalità museali; sono utili anche a privati e a tutti coloro che in qualche maniera sono interessati a preservare particolari oggetti dal deterioramento, in quanto sono per lo più indicazioni generiche e suggerimenti facilmente applicabili.

Documenti a carattere generale:

Francia. Direction de Musées de France

Museofiches: si tratta di linee guida, disponibili anche in rete, che riguardano in particolare le misure da prendere per l'ottenimento di un microclima adatto alla conservazione, i materiali adatti agli allestimenti e gli aspetti relativi alla sicurezza.

Gran Bretagna. MLA The Museums, Libraries and Archives Council

La MLA fornisce suggerimenti e consigli per la conservazione e la sicurezza delle raccolte. La sezione "conservation", è suddivisa per tipo di collezione (ad esempio strumenti musicali o orologi antichi) e per tipo di materiale (ceramica, vetro, metalli).

Ha pubblicato "*Resource. Benchmarks in collection care for museums, archives and libraries: a self assessment checklist*", una raccolta consistente in una vasta gamma di standard, linee guida ed istruzioni utili ad accertare gli standard di qualità delle misure preventive adottate ai fine della conservazione e cura delle collezioni, focalizzando l'attenzione su diverse macro aree: aspetti legali, sicurezza, edificio, depositi, cura e manipolazione degli oggetti, monitoraggio e controllo ambientale, copie sostitutive degli oggetti più a rischio e piani d'emergenza.

U.S.A. Northeast Document Conservation Center (NEDCC).

Ha pubblicato "*Assessing preservation needs: a self-survey guide*", il cui scopo è aiutare le piccole e medie istituzioni, dotate di risorse economiche limitate e con poca esperienza in conservazione preventiva, a creare un programma in grado di assicurare le migliori condizioni di conservazione possibili.

L'NEDCC mette anche a disposizione in rete dei "leaflet" ossia degli opuscoli che danno indicazioni su strategie di conservazione preventiva, parametri microclimatici e illuminotecnici, procedure in caso di emergenza e suggerimenti sulle procedure di manipolazione e imballaggio degli oggetti.

U.S.A. Syracuse University Library. Department of Special Collections. Conservation Laboratori.

Ha pubblicato “*Environmental Guidelines*”, linee guida che comprendono anche una tabella sintetica dei valori ritenuti ottimali per la conservazioni di materiali cartacei, tessili, film, negativi, e dipinti ed un elenco di risorse bibliografiche consigliate per approfondire e risolvere problematiche specifiche.

Documenti specifici per archivi e biblioteche:

International Council on Archives.

Moving archival records: guidelines for preservation. Comma: international journal on archives.

International Federation of Library Associations and Institutions (IFLA).

Principles for the care and handling of library materials. Disponibile anche in una versione italiana del 2004: Principi dell’IFLA per la cura e il trattamento dei materiali di biblioteca.

Guidelines for exhibition loans. IFLA Rare Books & Manuscripts Section. Disponibili anche nell’edizione italiana: Linee guida IFLA sui prestiti per mostre.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

Procedures and Conservation Standards for Museum Collections in Transit and on Exhibition;

Impact of environmental pollution on the preservation of archives and records: a RAMP study;

Memory of the World Programme. General guidelines to safeguard documentary heritage;

Memory of the World Programme. Preserving documentary heritage: a tutorial;

Study on integrated pest management for libraries and archives;

Disaster planning: preparedness and recovery for libraries and archives: a RAMP study with guidelines;

Emergency programme for the protection of vital records in the event of armed conflict.

Australia. National Archives of Australia (NAA).

Standard for the physical storage of Commonwealth records.

Storing to the standard: guidelines for implementing the standard for the physical storage of Commonwealth records.

Questi due documenti rappresentano Codici di buona pratica per la gestione, conservazione e manipolazione di diverse tipologie di materiale documentario (cartaceo, audiovisivo, microfilm e “machine readable formats”).

Canada. Canadian Council of Archives (CAA).

Basic conservation of archival materials.

Canada. Canadian Council of Archives (CCA).

Salvage operations for water-damaged archival collections: a second glance.

Francia. Ministère de la culture et de la communication. Direction du livre et de la lecture.

Protection et mise en valeur du patrimoine des bibliothèques de France: recommandations techniques. Riguardano tra l'altro il controllo dei parametri ambientali, le operazioni di pulizia, la riparazione delle rilegature, le modalità espositive, i trattamenti per materiali illustrativi ed audiovisivi e aspetti relativi alla riproduzione dei documenti.

Francia. Ministère de la Culture et de la Communication, Centre de Documentation de la Direction du livre et de la Lecture.

Contamination des collections et des locaux des bibliothèques par des moisissures: méthodes de détection et d'évaluation.

Gran Bretagna. Museums & Galleries Commission (MGC).

Standards in the Museum Care of Photographic Collections.

Gran Bretagna. National Preservation Office.

Fondato nel 1984 come parte della British Library ma guidato da un comitato di gestione indipendente, ha pubblicato un gran numero di documenti, per lo più disponibili in rete, nei quali vengono trattati vari aspetti relativi alla conservazione; tra essi:

- *Basic Preservation Guidelines for Library and Archive Collections;*
- *Guidance for exhibiting archive and library materials;*
- *The application and use of standards in the care and management of archives and libraries;*
- *Good handling principles and practice for library and archive materials;*
- *Photocopying of library and archive materials;*
- *Managing the preservation of library and archive collections in historic buildings;*
- *A national preservation strategy for library and archive collections in the United Kingdom and Ireland: principles and prospects;*
- *Carrying out a library security survey and drafting a security policy;*
- *Security matters: designing out crime;*
- *Security matters: how to deal with criminal and anti-social behaviour;*
- *Packing and moving library collections.*

U.S.A. American Library Association (ALA).

Guidelines for the security of rare books, manuscripts, and other special collections.

U.S.A. Association of College & Research Libraries (ACRL).

Guidelines for borrowing and lending special collections materials for exhibition.

U.S.A. American Institute for Conservation of Historical and Artistic Works (AIC).

Caring for your books. Si tratta anche in questo caso di consigli pratici per la cura delle collezioni librerie; fa parte della serie “Caring for your treasures”, disponibile in rete come la maggior parte dei documenti dell’AIC.

U.S.A. Image Permanence Institute (IPI).

Storage Guide for Acetate Film. Fornisce dati sulle condizioni ambientali di conservazione per pellicole fotografiche e sul tempo in cui si suppone che queste restino chimicamente e fisicamente stabili; riporta, inoltre, informazioni su come si potrebbe stimare il danno che subirebbero i materiali al variare di tali parametri.

U.S.A. National Archives & Records Administration (NARA).

At-a-glance guide to document handling and holdings maintenance. E’ una check list di ciò che è corretto fare nella manipolazione e conservazione dei documenti d’archivio.

5.3 LE NORME UNI SUL MICROCLIMA

5.3.1 Il ruolo della fisica applicata nella conservazione in ambienti confinati

L’apporto della fisica applicata alle problematiche della conservazione affonda le sue radici nel tempo, in quanto da sempre negli ambienti conservativi è stata utilizzata l’impiantistica termotecnica; un contributo

scientifico si è avuto però solo a partire dagli ultimi decenni del secolo scorso, quando in molti musei sono comparsi i primi impianti di climatizzazione per il controllo dei parametri termoigrometrici e della purezza dell'aria. Oggi, la ricerca effettuata a livello internazionale nell'ambito della fisica applicata e in Italia in quello della fisica tecnica ambientale, è giunta a risultati che vanno ben al di là della semplice progettazione dell'impianto; ne è un esempio chiaro il capitolo dell'Handbook Fundamentals dell'ASHRAE (ASHRAE, 2003) interamente dedicato alle problematiche dell'impiantistica museale. A livello italiano, si ricordano qui alcuni studi sulle condizioni termoigrometriche ottimali per i diversi tipi di materiali (Aghemo et al., 1997), quelli sulla termofluidodinamica nelle vetrine espositive (Biava et al., 1982; Lombardi e Casetta, 1991; Isetti e Magrini, 1995; Perino, 2005; Baggio et al., 2005), quelli sulla definizione delle soluzioni impiantistiche più consone alle problematiche della conservazione (Filippi, 1987; Bassi, 1991; Gasparini, 1991; Zecchin, 2005), quelli sull'influenza delle condizioni illuminotecniche sul degrado (Serra Lerchental, 1986; Bellia et al., 2005, Pellegrino, 2005), quelli sul degrado degli edifici storici dovuti alla presenza di umidità ascendente nelle murature (Aghemo et al., 1994; Alfano et al., 1997), oltre al lavoro in ambito normativo (d'Ambrosio e D'Agostino, 2005).

Purtroppo, a fronte di questo notevole lavoro di ricerca, va riscontrato un generale scarso coinvolgimento delle competenze della fisica applicata nelle problematiche della conservazione, se non per aspetti di consulenza meramente tecnica. In questo senso, va segnalata un'esperienza che la Campania vive oramai da più di dieci anni; infatti, nel 1993, nella Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, è stato istituito il CIBEC, Centro interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali, che raccoglie tutte le competenze ingegneristiche che possono fare da supporto al settore dei Beni Culturali, da quelle strutturali a quelle geotecniche, da

quelle elettrotecniche a quelle fisico-chimiche, a quelle della fisica applicata; ciò con il fine di creare le condizioni per la formazione di una cultura critica dell'Ingegneria, capace di confrontarsi con le altre culture sul piano della conoscenza storica e di sviluppare ricerche nei settori dell'ingegneria per i Beni Culturali, per contribuire allo sviluppo della conservazione e del restauro dei beni di interesse storico, artistico e culturale. In questi anni di attività, a testimonianza dell'importanza della integrazione tra le diverse competenze, il Centro ha sviluppato ricerche su progetti del C.N.R., ha svolto numerose consulenze per il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e per i suoi organi periferici, ha effettuato consulenze tecnico-scientifiche per conto delle Soprintendenze per i Beni Archeologici di Roma, Napoli, Caserta, Salerno e Avellino. Attualmente, il CIBEC è anche uno dei soggetti attuatori per il Centro di Competenza per la Conservazione, Valorizzazione e Fruizione dei Beni Culturali ed Ambientali della Regione Campania.

5.3.2 La normativa di settore

A testimonianza del fatto che in Italia l'interesse normativo per i Beni Culturali è notevole, va ricordato che l'attività normativa nel settore risale al 1977 quando, su iniziativa congiunta del Consiglio Nazionale delle ricerche (CNR) e dell'Istituto Centrale per il Restauro (ICR), fu istituita la Commissione NorMaL, con lo scopo di “stabilire metodi unificati per lo studio delle alterazioni dei materiali lapidei e per il controllo dell'efficacia dei trattamenti conservativi di manufatti di interesse storico - artistico”, con lo scopo di interessarsi unicamente dei materiali lapidei. La Commissione NorMaL, i cui interessi si sono poi allargati a diversi settori della conservazione, ha pubblicato 51 documenti, classificabili nelle categorie

condizioni microclimatiche, malte, materiali lapidei, varie, dei quali, come risulta dalla tabella 5.1, sei riguardano le condizioni microclimatiche.

Nel 1996 fu poi firmata una convenzione tra l'allora Ministero per i Beni Culturali e l'UNI, allo scopo di creare una Commissione Tecnica, la Commissione Beni Culturali - NorMaL, diventata operativa nel 1997, il cui compito è quello di elaborare norme nazionali nel settore dei Beni Culturali, anche aggiornando i documenti NorMaL. Quindi, a partire dalla fine degli anni '90, l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione, unico tra gli Enti normatori nazionali, ha emanato nel settore 29 norme classificabili nei seguenti argomenti: ceramica, condizioni microclimatiche, malte, manufatti lignei, materiali lapidei, strati pittorici. Di queste, come risulta dalla tabella 5.2, cinque riguardano le condizioni microclimatiche; due di esse, la 10586 e la 10829, non sono state prodotte dalla Commissione Beni Culturali - NorMaL.

Da quanto detto e dai numeri ricordati, risulta evidente che l'interesse normativo non è rivolto essenzialmente alle condizioni microclimatiche, ma ad altro tipo di problematiche, in particolare a quelle riguardanti i materiali lapidei.

Qui di seguito vengono sintetizzati i documenti NorMaL e illustrate e discusse le Norme UNI che si riferiscono alle condizioni microclimatiche.

Documenti NorMaL

Le Normal 5, nel loro complesso, propongono metodi di misurazione della concentrazione di alcuni inquinanti, specificando i protocolli da seguire per la misura dei parametri termoigrometrici indoor e outdoor e di alcuni parametri metereologici, di interesse all'esterno; definendo gli strumenti da utilizzare e la loro precisione.

In particolare, le 5/81, 82 e 87 definiscono le specifiche tecniche per la misura della concentrazione in aria di alcune sostanze inquinanti, la 5/86

aggiorna la 5/81. La NorMaL 5/83 riguarda le misure dei parametri termoigrometrici, riportate ai punti 12 e 13, e di quelli legati alle condizioni meteorologiche, quali vento, pressione barometrica e radiazione solare, che non sono qui trattate. La 5/83, per quanto riguarda i parametri termoigrometrici, è stata sostituita dalla UNI 11120 per la temperatura dell'aria e dalla UNI 11131 per l'umidità dell'aria, anche se solo la seconda riporta la dizione *La presente norma sostituisce il punto 13 della Norma 5/83*.

La Norma 39, infine, fornisce indicazioni su come effettuare i campionamenti per rilevare la componente microbica dell'aria, in termini sia di punti di prelievo che di sistemi di campionamento.

Norme UNI

Tabella II - Normativa UNI sulle condizioni microclimatiche nel settore dei Beni Culturali.

numero	anno	titolo
condizioni microclimatiche		
10586	1997	Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti.
10829	1999	Beni di interesse storico artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi
10969	2002	Beni culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni
11120	2004	Beni culturali - Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti
11131	2005	Beni culturali - Misurazione in campo dell'umidità dell'aria

La norma **10829** del 1999 è stata elaborata dal Sottocomitato 1 "Trasmissione del calore e fluidodinamica" del Comitato Termotecnico Italiano, ente federato all'UNI. La norma, che si riporta in maniera dettagliata nel paragrafo successivo, si basa sull'assunto che le grandezze fisiche ambientali da controllare ai fini di evitare il degrado sono la temperatura, il grado igrometrico e l'illuminamento (intesi come valori assoluti e come gradienti temporali), e che la storia climatica degli oggetti riveste un'importanza fondamentale nella conservazione. A questo scopo, la 10829

prescrive innanzitutto una metodologia per la misurazione delle tre grandezze citate; fornisce poi indicazioni relative alle modalità di elaborazione, sintesi e presentazione dei dati misurati ai fini di una valutazione per il contenimento dei processi di degrado; inoltre, indica i “valori consigliati” dei parametri fisici ambientali e dei loro intervalli di variazione per alcune particolari categorie di materiali e manufatti; infine, riporta esempi di schede per la raccolta di informazioni sulla storia climatica degli oggetti. La norma non affronta il problema della valutazione dei fenomeni di degrado, che è affidata ai responsabili ed agli esperti della conservazione.

La norma ha un approccio di tipo chiaramente ingegneristico, nel senso che definisce in maniera chiara ed inequivocabile cosa misurare, come effettuare le misure, le specifiche tecniche della strumentazione da utilizzare, la modalità di elaborazione dei dati ottenuti, gli indicatori di scostamento, che rappresentano una misura del rischio cui sono soggette le raccolte. Il tutto tiene fortemente presenti i risultati della ricerca nel settore impiantistico e in quello delle misure, ovviamente applicata alle problematiche della conservazione, nel senso che prende in considerazione esclusivamente i parametri legati al degrado (temperatura e umidità dell’aria, in termini di valori istantanei e di loro andamento nel tempo, temperature superficiali, illuminamento e quantità di radiazione ultravioletta). Si tratta in definitiva di una norma “di servizio”, che dovrebbe costituire un ponte tra coloro che devono definire e imporre le condizioni per la conservazione, i conservatori, e coloro che devono realizzare tali condizioni, i progettisti, che devono progettare impianti ad hoc.

La norma **10969** non fornisce alcuna informazione tecnica, ma costituisce semplicemente una linea guida per la scelta e il controllo del microclima finalizzato alla conservazione dei beni culturali in ambienti interni, quali musei, gallerie, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici.

Le norme **11120** e **11131** prescrivono i requisiti fondamentali per la taratura degli strumenti di misura, definiscono le metodologie di misurazione in campo delle grandezze considerate, forniscono le caratteristiche principali degli strumenti di misura da utilizzare. La norma **11120** del 2004 riporta indicazioni sulla misura della temperatura dell'aria in ambiente indoor e outdoor; rispetto alla precedente Norma introduce il sacrosanto concetto di taratura degli strumenti. La norma fa riferimento alla UNI-EN-ISO 7726 (UNI, 2002), ma si differenzia profondamente da questa nel momento in cui non tiene conto del fatto che la 7726 prevede due classi di strumenti, definite C (comfort) e S (stress), delle quali la prima, nello spirito della 7726 che è una norma sull'ergonomia degli ambienti termici, si riferisce agli ambienti di lavoro moderati, che nella traslazione ai beni culturali potrebbe quindi rappresentare gli ambienti interni, intesi come edifici storici, musei, vetrini; la seconda, invece, fa riferimento agli ambienti di lavoro severi e, nell'accezione dei beni culturali, dovrebbe essere usata per misure all'esterno, dove i parametri termoigrometrici variano in intervalli ben più ampi, con conseguenti precisioni richieste diverse. In particolare, per quanto riguarda la misura della temperatura radiante, la norma suggerisce l'uso di un globotermometro, che è senza dubbio perfetto nel caso di oggetti tridimensionali, ma che sicuramente non funziona nel caso di superfici piane, in quanto sovrastima la radiazione incidente e per le quali andrebbe invece misurata la temperatura piana radiante.

Ancora, la norma richiede per il monitoraggio la valutazione del campo termofluidodinamico esistente intorno all'oggetto, il che non è facilmente realizzabile, soprattutto perché richiede precise competenze e non, come taluni sono portati a credere, il semplice utilizzo di un programma di CFD (Computational Fluid Dynamic).

La norma **11131** riguarda le misure di umidità dell'aria e, come la 11120, fa riferimento alla UNI-EN-ISO 7726 (UNI, 2002). Va innanzitutto sottolineato che questa norma non tiene conto di un parametro molto utilizzato nella pratica impiantistica, se non altro perché è una delle proprietà che compaiono nel diagramma psicrometrico: il titolo dell'aria umida, definito come rapporto tra la massa di vapore contenuta nell'aria e la massa di aria secca; a fronte di ciò, la norma definisce una serie di grandezze non direttamente misurabili, quali l'umidità specifica e quella assoluta, generalmente non prese in considerazione dai tecnici impiantisti.

Le ultime due norme citate, soprattutto quella sull'umidità dell'aria, vanno necessariamente riviste, se non altro per renderle effettivamente applicabili alle complesse problematiche della conservazione. D'altra parte, sulle misure termoigrometriche esiste già la 10829, che è sicuramente migliorabile e che potrebbe essere rivista recependo eventualmente indicazioni che attualmente non contiene e che sono invece previste dalla 11120 e dalla 11131; in tal modo, considerato che in certi punti le norme sono discrepanti, si eviterebbero anche problemi di interpretazione e di sovrapposizione, che certamente creano notevoli confusioni, vuoi sul piano progettuale che su quello del collaudo degli impianti eseguiti.

5.4 LA NORMA UNI 10829 (1999)

Titolo norma:

Norma UNI 10829 (1999): Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi

Scopo e campo di applicazione

La norma prescrive una metodologia per la misurazione in campo delle grandezze ambientali termoigrometriche e di illuminazione ritenute significative ai fini della conservazione di beni di interesse storico e artistico, e fornisce indicazioni relative alle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati tramite parametri riassuntivi ritenuti utili a caratterizzare gli andamenti delle grandezze ambientali in vista di una loro valutazione finalizzata al contenimento dei processi di degrado. La presente norma considera solamente le condizioni ambientali termiche, igrometriche e luminose. Essa non riguarda invece i criteri e i metodi per tale valutazione, che è affidata ai responsabili ed agli esperti della conservazione degli oggetti in questione.

Descrizione

La norma parte dal presupposto che le grandezze fisiche ambientali da controllare, ai fini di evitare il degrado dei beni di interesse storico ed artistico in ambienti confinati, sono principalmente la temperatura ed il grado igrometrico dell'aria, l'illuminamento e la quantità di radiazione ultravioletta senza trascurare naturalmente la temperatura superficiale degli oggetti. Al fine di caratterizzare gli andamenti di queste grandezze, viene prescritta innanzitutto una metodologia per la loro misurazione in termini di rilievi spazio-temporali indicando anche le caratteristiche delle apparecchiature di misurazione; fornisce poi indicazioni relative alle modalità di elaborazione, sintesi e presentazione dei dati misurati.

In essa sono, inoltre, riportati “a titolo indicativo”, i valori di riferimento (in termini assoluti e di gradienti temporali) da considerarsi in mancanza di indicazioni specifiche diverse, per i parametri ambientali relativi alla conservazione di 33 categorie di materiali e oggetti e dei loro intervalli di variazione ritenuti accettabili. A tal riguardo la norma introduce l'indicatore di scostamento come ulteriore parametro di controllo. Viene definito come

indicatore di scostamento, relativamente ad una certa grandezza, la percentuale di tempo in cui la grandezza in esame si mantiene al di fuori del campo prescelto ritenuto accettabile.

La norma riporta, infine, esempi di schede per la raccolta di informazioni sulla storia climatica cui il manufatto è stato sottoposto nel tempo al fine di evidenziare eventuali correlazioni con processi di degrado in atto nel manufatto stesso. Nella scheda sono previste informazioni sulla collocazione e sullo stato di conservazione dell'oggetto, sui valori massimi e minimi riscontrati delle grandezze ambientali significative nell'arco di un giorno tipo e sulle modalità e dispositivi adottati di controllo delle grandezze ambientali.

5.5 LA NORMA UNI 10969 (2002)

Titolo norma:

Norma UNI 10969 (2002): Beni culturali – Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni

Scopo e campo di applicazione

Lo scopo della norma è di fornire linee guida per la scelta e il controllo del microclima finalizzato alla conservazione dei beni culturali in ambienti interni, quali musei, gallerie, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici. Per materiali che richiedono condizioni particolari, la norma rimanda a specifiche disposizioni normative ove esistenti.

Descrizione

La norma si basa sull'assunto che il degrado dei materiali di cui sono costituiti manufatti e reperti naturali è un processo complesso, di natura cumulativa, dove intervengono sia il numero sia l'intensità dei singoli eventi

forzanti, e che ogni perturbazione ambientale contribuisce ad accelerare. Nella norma è anche specificato che non essendo possibile fissare per ogni precisi valori di soglia o intervalli di valori ottimali dei parametri ambientali ai fini della conservazione è però possibile stabilire dei principi generali cui possano attenersi i responsabili della conservazione.

Secondo quanto prescrive la norma, in maniera del tutto generale, nella fase preliminare di indagine per la determinazione del microclima idoneo alla conservazione di un oggetto sono necessarie due tipi di azioni:

1. una ricerca multidisciplinare integrata atta a individuare lo stato di conservazione dell'oggetto al presente e nel passato, la sua storia pregressa e i valori dei parametri microclimatici in cui è stato conservato;
2. analisi di laboratorio atte a rilevare i fenomeni di alterazione in relazione alla risposta dei materiali alle variazioni dei parametri ambientali.

Vengono poi date indicazioni, sempre a carattere generico su come effettuare la scelta del microclima per la conservazione, in particolare tenendo conto sia dell'impatto diretto, in termini di valori assoluti e di gradienti spaziali e temporali, che questo ha sui materiali, sia di quello indiretto potendo favorire indesiderate reazioni chimiche, specie in presenza di inquinanti atmosferici, o realizzarsi un habitat favorevole a forme di degrado biologico. Seguono alcune linee guida che riguardano il rispetto per la storia microclimatica dell'oggetto, suggerimenti sulla scelta delle ubicazioni più adatte all'esposizione e sui rimedi per evitare indesiderate variazioni temporali o spaziali dei parametri ambientali.

5.6 LA NORMA UNI 11120 (2004)

Titolo norma:

Norma UNI 11120 (2004): Beni culturali. Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti.

Scopo e campo di applicazione

La norma fornisce una guida per la misurazione della temperatura dell'aria e della superficie di oggetti che fanno parte del patrimonio culturale, sia che si trovino all'aperto sia che si trovino all'interno (per esempio in musei, gallerie, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici). La norma stabilisce indicazioni che assicurino allo stesso tempo un'elevata qualità della misura e il massimo rispetto dell'integrità delle opere.

Descrizione

La norma parte dal presupposto che la temperatura è una grandezza fisica primaria che gioca un ruolo fondamentale nel determinare le interazioni tra ambiente e manufatto e che è indispensabile operare non solo con l'esigenza del rigore scientifico, ma anche con gli accorgimenti e la prudenza dovuti nel caso di beni culturali. La norma prescrive innanzitutto i requisiti fondamentali per la taratura degli strumenti, che costituiscono adattamento al caso specifico dei beni culturali della UNI EN ISO 7726, da indicazioni sul tipo di strumenti da utilizzare per le misure, in termini di tipologia di sensore, e dispone le modalità di esecuzione della misura stessa. Particolare attenzione viene data alle caratteristiche metrologiche (Campo di misura, Incertezza di misura, Ripetibilità, Risoluzione, Tempo di risposta e Stabilità) degli strumenti utilizzati sia per la misura della temperatura dell'aria che per la misura della temperatura della superficie dei manufatti.

5.7 LA NORMA UNI 11131 (2005)

Titolo norma:

Norma UNI 11131 (2005): Beni culturali. Misurazione in campo dell'umidità dell'aria.

Scopo e campo di applicazione

La norma indica i parametri fisici e gli strumenti idonei alla misurazione dell'umidità dell'aria ai fini della conservazione del Patrimonio Culturale, sia che si trovi all'aperto sia all'interno (per esempio in musei, gallerie, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici). La norma stabilisce indicazioni per effettuare misurazioni accurate dell'ambiente microclimatico e per studiare le interazioni fra aria e oggetti.

Descrizione

Data il ruolo fondamentale che il grado igrometrico dell'aria gioca nella prevenzione del degrado dei beni culturali la norma dà specifiche indicazioni per effettuare misurazioni accurate di questo parametro al fine di contribuire ad individuare interazioni che avvengono tra ambiente e manufatto.

La norma stabilisce, innanzitutto i requisiti fondamentali concernenti la taratura degli strumenti, che costituiscono come per la 11120 un adattamento al caso specifico dei beni culturali della UNI EN ISO 7726, da indicazioni sul tipo di strumenti da utilizzare per le misure, in termini di tipologia di sensore, e dispone le modalità di esecuzione della misura stessa. Particolare attenzione viene data alla localizzazione dei punti di misurazione, che devono essere rappresentativi di quanto avviene nell'ambiente, e all'effetto della temperatura sull'umidità relativa che va tenuto in considerazione. La norma poi indica le caratteristiche metrologiche (Campo di misura, Incertezza di misura, Ripetibilità, Risoluzione, Tempo di risposta e Stabilità) degli strumenti e dei sensori utilizzati per le misure di umidità e ne dà le principali caratteristiche definendone aspetti positivi e negativi.

5.8 CONCLUSIONI

La moderna scienza della conservazione è sempre più orientata verso la prevenzione; infatti, i fattori che maggiormente contribuiscono al deterioramento dei beni custoditi nei musei sono oramai conosciuti e sono disponibili sufficienti strumenti per poter intervenire e ridurre il rischio di danno.

Utilizzando prodotti che soddisfino i requisiti di compatibilità con gli oggetti esposti, associando ad essi idonee condizioni in termini di parametri ambientali e di conservazione e adottando idonee procedure di manipolazione e cura delle collezioni, è sicuramente possibile preservare il nostro patrimonio culturale. A tal riguardo, però, riteniamo di poter affermare che l'attività di normazione, conseguente a quella di studio e ricerca sui materiali, è da considerarsi ugualmente fondamentale. L'auspicio è che la sensibilità su questo argomento aumenti sempre più e che si giunga, nei limiti del possibile, a produrre standard sugli ambienti museali analoghi a quelli per la archivi e biblioteche, trasformando quelle regole di buona pratica, che ogni esperto curatore o professionista nel settore possiede, in consuetudini e regole codificate che siano accettate ed universalmente riconosciute.

GLOSSARIO

acidi: classe di sostanze composte da idrogeno combinato con altri elementi chimici. Dotati di ottime proprietà corrosive, sono dannosi per i manufatti, soprattutto quelli metallici (ma non solo) e pericolosi per l'uomo. Sono neutralizzati dagli alcali (cfr.).

acido carbonico (H_2CO_3): prodotto della reazione tra anidride carbonica e carbonato di calcio (cfr.) in presenza di acqua; è solubile in acqua.

acido cloridrico (HCl): acido forte e pericoloso; può sciogliere l'oro e il platino ed è pericoloso per l'uomo

acido solforico (H_2SO_4): acido fortissimo, conosciuto anche come vetriolo. Determina la solfatazione dei carbonati di calcio, con conseguente rischio di dilavazione in presenza di acqua liquida.

adsorbimento: fenomeno per cui un sottile film di liquido o di aeriforme aderisce alla superficie di un corpo solido, che non si combina chimicamente con la sostanza adsorbita.

alcali: altamente solubili in acqua, neutralizzano gli acidi (cfr.). Alcuni alcali, in particolare la soda caustica, sono molto corrosivi e nocivi.

alogeni: dal greco *alos-* -*genos*, generatore di sali, sono gli elementi del gruppo 17 della tavola periodica: fluoro, cloro, bromo, iodio, astato

anidride carbonica (CO_2): gas presente nell'aria; combinandosi con alcuni ossidi e idrati forma carbonati; è determinante nel processo di carbonatazione dell'intonaco a calce in genere e quindi quello a "marmorino".

anidride solforica: (cfr. triossido di zolfo)

anidride solforosa: (cfr. biossido di zolfo).

arcatura: deformazione di una tavola di legno che si manifesta nel senso della lunghezza e perpendicolarmente alla sua faccia.

assorbimento: fenomeno per cui una sostanza penetra all'interno di un'altra.

barriera al vapore: materiale caratterizzato da un valore della permeabilità al vapore (cfr.) molto basso

biossido di zolfo (SO₂): gas incolore, di odore irritante, non infiammabile, tossico, irrespirabile, rappresenta l'inquinante atmosferico per eccellenza essendo il più diffuso, uno dei più aggressivi e pericolosi e quello maggiormente in maggior quantità dalle sorgenti antropogeniche. E' solubile in acqua ed in numerosi composti organici; più pesante dell'aria, tende a stratificare nelle zone più basse. Nell'uomo è irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie; allo stato anidro non reagisce con i metalli, ad eccezione dello zinco e dei metalli alcalini che sono rapidamente aggrediti, mentre allo stato umido provoca la corrosione di molti metalli.

calcio carbonato: (cfr. carbonato di calcio)

capacità tampone specifica compensata: capacità tampone specifica M (cfr) ottenuta effettuando ripetuti cicli di adsorbimento e deadsorbimento, entro un intervallo finito di U.R., fino ad ottenere un valore costante

capacità tampone specifica: quantità di acqua, espressa in grammi, guadagnata o persa da 1 kg di gel di silice quando l'umidità relativa cambia dell'uno per cento

carbonatazione - Processo fisico-chimico attraverso il quale l'acqua che si libera dall'intonaco nella fase di indurimento ed asciugatura, permette la reazione tra la calce spenta, Ca(OH)₂ e l'anidride carbonica dell'aria (cfr.) che ricomporrà il carbonato di calcio (cfr.).

carbonato di calcio (CaCO₃) - Calcite che si presenta come calcare saccaroide o pietra calcarea. Elemento costituente dei marmi

deformazione: in un prodotto a base di legno, termine generico usato per indicare qualsiasi variazione rispetto alla sua planarità; comprende essenzialmente l'imbarcatura (cfr.), l'arcatura (cfr.), lo svergolamento (cfr.) o una loro combinazione

durabilità: capacità di un materiale e/o di un manufatto di resistere alla degradazione indotta da sollecitazioni ambientali (di natura fisico-chimica) e biologiche (causate da batteri, funghi, insetti o organismi marini) nelle previste condizioni di esercizio.

camera climatica: ambiente di prova nel quale è possibile realizzare condizioni assegnate di temperatura e grado igrometrico (cfr.) dell'aria e, talvolta, anche di velocità dell'aria.

carbonato di calcio: elemento costituente dei marmi, delle concrezioni calcaree e delle pietre da calce.

corrosione: processo di ossidazione che avviene in presenza di acqua e porta alla progressiva scomparsa degli strati superficiali di un manufatto.

corrosione secca o chimica: processo di corrosione (cfr.) che avviene in assenza di umidità, a seguito del contatto tra un metallo e un reagente chimico quale ossigeno, anidride carbonica, acido solfidrico.

elastomeri: sostanze naturali o sintetiche che hanno le proprietà tipiche della gomma, in particolare la capacità di subire grosse deformazioni elastiche. Sono polimeri e si dividono in due classi principali: i termoplastici, che una volta stampati possono venire nuovamente fusi, ed i termoindurenti, che una volta modellati non possono venire ulteriormente fusi.

EMC: contenuto di umidità, ad equilibrio raggiunto, ad un fissato grado igrometrico e a temperatura costante

fessurazione: separazione degli elementi anatomici principali di un materiale, causata principalmente dai parametri termoigrometrici

formaldeide: gas incolore con odore pungente ed irritante per gli occhi e per le vie respiratorie, appartenente alla classe dei Composti Organici Volatili (VOC); si trova in tappezzerie, truciolati, isolanti, coloranti, materie plastiche, moquette, tessuti, detersivi, conservanti, disinfettanti e fumo di tabacco. Recentemente inserita dallo IARC, International Agency for Research on Cancer, tra i carcinogeni sospetti per l'uomo, danneggia i materiali ceramici o a base di calcio, i metalli e gli oggetti sintetici.

gel di silice: materiale igroscopico rigenerabile.

grado igrometrico: rapporto tra la pressione del vapore e la pressione del vapore saturo alla stessa temperatura, nell'aria umida; per pressioni pari a 1,013 bar e temperature tipiche degli ambienti interni moderati il suo valore coincide con quello dell'umidità relativa (cfr.)

IAQ: Indoor Air Quality

imbarcatura: deformazione di una tavola di legno causata dal diverso ritiro delle fibre.

lignina: sostanza chimica complessa presente nel legno.

metodo delle soluzioni saline: metodo basato sulla proprietà delle soluzioni di presentare valori della tensione di vapore inferiori a quelli del solvente puro; si utilizza per ottenere un determinato valore di umidità relativa.

particolato: (cfr. particolato aerodisperso).

particolato aerodisperso: anche detto semplicemente particolato o Particolato Totale Sospeso (PTS), è il materiale particellare in sospensione nell'aria.

Particolato Totale Sospeso: (cfr. particolato aerodisperso).

permeabilità al vapore: capacità di un materiale di farsi attraversare da una massa unitaria di vapore per unità di tempo, di spessore e di differenza di pressione.

PM₁₀: particolato (cfr.) con diametro aerodinamico inferiore a 10 micron.

PM_{2,5}: particolato (cfr.) con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 micron.

protisti: organismi primitivi che si distinguono dagli animali e dalle piante per la loro organizzazione relativamente semplice.

SBS (Sick Building Syndrome): insieme di sintomi specifici, in genere di modesta entità, che insorgono dopo alcune ore di permanenza in un edificio e che si risolvono rapidamente dopo qualche ora o qualche giorno di non permanenza in quell'edificio. In genere, si parla di SBS quando il 20% degli occupanti dell'ambiente accusa questi malesseri per almeno 2 settimane (il malessere passeggero è irrilevante).

soda caustica: (cfr. idrossido di sodio)

soluzioni saline (metodo delle): (cfr. metodo delle soluzioni saline)

svergolatura: deformazione di una tavola di legno che risulta torta intorno al proprio asse principale.

triossido di zolfo (SO₃): prodotto della reazione del biossido di zolfo (cfr.) con l'acqua, in fase liquida o aeriforme, è responsabile in gran parte del fenomeno delle piogge acide.

umidità relativa: rapporto tra la densità del vapore e la densità del vapore saturo alla stessa temperatura, nell'aria umida; per pressioni pari a 1,013 bar e temperature tipiche degli ambienti interni moderati il suo valore coincide con quello del grado igrometrico (cfr.)

VOC: Composti Organici Volatili, grande famiglia di sostanze tra cui prevalgono gli alcani, i cicloalcani, gli idrocarburi aromatici e clorurati e le aldeidi.

SIMBOLOGIA

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
a	Valore di soglia del grado igrometrico nell'attivazione del processo di germinazione di un fungo	adim
C	concentrazione di gas tracciante nell'aria dell'ambiente	m ³ /m ³
C _e	concentrazione del gas tracciante nell'aria esterna	m ³ /m ³
C ₀	concentrazione del gas tracciante all'istante iniziale delle misura con il metodo del decadimento del gas tracciante	m ³ /m ³
EMC	Equilibrium Moisture Content o umidità fisiologica	kg/kg
F _a	flusso d'aria attraverso l'ambiente	m ³ /h
F _g	portata di immissione del gas tracciante nell'ambiente	m ³ /h
M	Capacità igroscopica specifica del materiale tampone	kg/(kg %)
MH	Capacità igroscopica specifica compensata del materiale tampone	kg/(kg %)
N	Numero di ricambi d'aria	h ⁻¹
p _v	Pressione parziale del vapore nell'aria	Pa
PM _{2,5}	Polveri con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 micron	mg/m ³
PM ₁₀	Polveri con diametro aerodinamico inferiore a 10 micron	mg/m ³
p _{vs}	Pressione di saturazione del vapore nell'aria	Pa
PTS	Particolato Totale Sospeso (PTS):	mg/m ³
t	Temperatura dell'aria	°C
θ	Tempo	h
(t) _{inf,min}	Minimo limite inferiore di temperatura relativa tra i suggeriti	°C
(t) _{sup,max}	Massimo limite superiore di temperatura relativa tra i suggeriti	°C
UR	Umidità relativa dell'aria	%

$(UR)_{inf,med}$	Valore medio dei limiti inferiori di umidità relativa	%
$(UR)_{inf,uni}$	Valore limite inferiore di umidità relativa suggerito dalle norme UNI	%
$(UR)_{sup,max}$	Massimo limite superiore di umidità relativa suggerito	%
$(UR)_{sup,med}$	Valore medio dei limiti superiori di umidità relativa	%
$(UR)_{sup,min}$	Minimo limite inferiore di umidità relativa suggerito	%
$(UR)_{sup,uni}$	Valore limite superiore di umidità relativa suggerito dalle norme UNI	%
V	Volume dell'ambiente	m ³
$(\Delta t)_{max}$	Massima escursione giornaliera di temperatura dell'aria consigliata	°C
$\Delta(UR)_{max}$	Massima escursione di umidità relativa consigliata	%
ϕ	grado igrometrico dell'aria	%
θ	Tempo	h

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. 1986. Manutenzione e conservazione del costruito tra tradizione e innovazione. Atti del Convegno “Scienza per i Beni Culturali”, Bressanone, 24-27 giugno.

AA.VV. 1997. La qualità ambientale nei musei. Atti della Giornata Seminariale AICARR “Microclima, qualità dell’aria e impianti negli ambienti museali”, 263-280, Firenze, 7 febbraio.

AA.VV. 2001. Proceedings of Workshop: Indoor environment engineering for heritage conservation, Clima 2000, Napoli, settembre.

AA.VV. 2003. Atti del Convegno “La conservazione preventiva delle raccolte museali”. Kermes quaderni, supplemento a Kermes La Rivista del Restauro, n. 49.

AA.VV. 2005. Atti del convegno AICARR Tecnologie impiantistiche per i musei. Roma, 6 maggio.

AA.VV. 2005. La carta nazionale delle professioni museali. Promossa dalla Conferenza Permanente delle Associazioni Museali Italiane. Milano, 24 ottobre.

AA.VV. 2005. Proceedings of Workshop on Indoor environment quality in Museums, Roma, 7 maggio.

Aghemo C., Filippi M., Lombardi C. 1986. Indagine sulla qualità ambientale nei musei: metodi e strumenti. Atti del 51° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, IVa, 27-38, Napoli.

Aghemo C., d’Ambrosio F.R., Dutto M.G., Fato I., Mollichelli V. 1994. Problemi di umidità in edifici storico-monumentali. Atti del 49° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 361-374, Perugia.

Aghemo C., Dutto M.G., Filippi M., Tinivella. 1995. Analisi e valutazione delle condizioni ambientali nel Museo Egizio di Torino”. Atti del 50° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 907-918, St. Vincent.

Aghemo C., Filippi M., Prato E. 1997. Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico. Ricerca bibliografica comparata. Comitato Giorgio Rota.

Aghemo C., Fellin L. 2005. Gli impianti nei musei: gli impianti di illuminazione”. Atti del Convegno AICARR “Tecnologie impiantistiche per i musei”. Roma, 6 maggio.

Alfano G., d’Ambrosio F.R., Riccio G. 1997. Degrado degli edifici dovuto ad umidità: prevenzione e bonifica”. In: Edilizia e Ambiente (A. Peretti e P. Simonetti eds.), 103-122. Arti Grafiche Padovane, Padova.

- Alfano G., d'Ambrosio F.R., Liotti F., Peduto M., Perrotta A., G. Riccio. 2005. La Qualità dell'aria interna e i cancerogeni. In: Manuale di medicina legale (a cura di L. Palmieri). In corso di stampa.
- Alfano G., d'Ambrosio F.R., Riccio G. 2003. La misura della CO₂ per valutare l'IAQ. Atti Convegno AICARR "Sistemi e impianti per il controllo della qualità dell'aria e dell'umidità", Napoli, febbraio.
- ASHRAE. 2003. Museums, Libraries, and Archives. ASHRAE Applications Handbook, 21. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.
- Baer N.S., Banks P. 1985. Indoor air pollution: effects on cultural and historic materials. The International Journal of Museum Management and Curatorship, 4, 9-20.
- Baer N.S., Banks P.N. 1987. Conservation notes. Environmental standards. The International Journal of Museum Management and Curatorship, 6, 207-209.
- Baggio P., Bonacina C., Romagnoni P.C., Stevan A. 2005. Studio del microclima in vetrine a stabilizzazione passiva dell'umidità relativa in ambiente museale. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma, 6 maggio.
- Bassi P. 1991. Interazione ed integrazione tra architettura ed impianti nella salvaguardia dei beni architettonici e storici. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 1-8.
- Bellia L., Cesarano A., Spada G. 2005. Il controllo della luce nei musei: un compromesso tra esigenze di esposizione e problemi di degrado dei materiali. Aspetti tecnici e normativi. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma, 6 maggio.
- Bernardi A. 2004. Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali. Casa editrice Il prato, Padova.
- Biava S., Caon S., Filippi M., Lombardi C. 1982. Sperimentazioni su un prototipo di vetrina museale corredato di un sistema passivo per il controllo igrometrico. Atti del 47° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, 421, Parma.
- Borgo A., Zecchin R. 2005. Gli impianti nei musei. Gli impianti di climatizzazione. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma, 6 maggio.
- Bruni S., Bellomo G. 1991. L'illuminazione artificiale dei musei. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 157-170.
- Camuffo D. 1998. Microclimate for cultural heritage. Amsterdam: Elsevier.
- Cavallini, R. 2001. Le vetrine come strumenti per la protezione e conservazione preventiva. Annali laboratorio museotecnico Goppion, III
- Chastel A. 1980. L'Italia, museo dei musei. In: I musei (a cura di A. Emiliani), Milano: Touring Club Italiano.
- Citterio M., Fagnoli G.M. 1997. Analisi di dati sperimentali di lungo periodo secondo il progetto di norma CTI: commenti su una applicazione presso la Galleria Borghese di Roma". Atti della giornata seminariale AICARR "Microclima, qualità dell'aria e impianti negli ambienti museali, 209-217, Firenze.
- Coltro S., Filippi M., Lombardi C., Vaudetti M., Aghemo C., Casetta G. 1989. Environmental auditing and measurement methodologies in museums. Proceedings of

- European Symposium on "Science, Technology and european cultural heritage", Bologna. Butterworth, London.
- Conferenza Stato-Regioni, 2001. *Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*. Accordo tra il Ministero della Salute, le regioni e le province autonome. Gazzetta Ufficiale n. 276 del 27.11.2001.
- D'Agostino V. 2002. La qualità dell'aria negli ambienti museali. Tesi di Laurea. DETEC, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- d'Ambrosio Alfano F.R., D'Agostino V. 2005. Standard Internazionali per gli ambienti museali. Proceedings of Workshop on Indoor environment quality in Museums, Roma, 7 maggio.
- F.R. d'Ambrosio Alfano, B.I. Palella, G. Riccio. 2005. Indagine sperimentale sulle permeabilità all'aria delle griglie passive. Atti del 58° Congresso ATI, Roma, 13-16 settembre (su CD).
- de Santoli L., Guidobaldi F., Muceli C.A. 2001. Marble "sensor" for air corrosivity monitoring in museum environment. Atti del 7th REHVA World Congress-proceedings of Clima 2000-Napoli, I, Napoli, 15-18 settembre.
- de Santoli L., Levermore G. 2001. A Survey about 100 Museums in Rome: Use of a Questionnaire Rating Liking and Importance of Psycho-physical factors. Proceedings of Clima 2000, Napoli, C11, 49-58.
- Erhardt D., Mecklenburg M.F. 1994. Relative Humidity RE-Examined. IIC Preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12-16.
- Erhardt D., Mecklenburg M.F., Tumosa C.S. 1995. The determination of allowable RH fluctuations. WAAC Newsletter 17 (1) January.
- Filippi M. 1987. Gli impianti nei musei. *Condizionamento dell'aria*, 31(8), 965-983. 1987.
- Filippi M., Aghemo C., Casetta G., Lombardi. 1989. Auditing the museum environment: a project in Italy's Piedmont region. *Museum*, XLI(4), 235-240.
- Filippi M. 1991. Tecnica del controllo ambientale per gli edifici storico-monumentali. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 9-18.
- Filippi M., Aghemo C., Silvi C. 1992. Climatic risk in the conservation of historic buildings". Proceedings of 3rd International Conference on "Non-destructive testing, microanalytical methods and environmental evaluation for study and conservation of works of art", 965-974, Viterbo.
- Filippi M., Lombardi C., Silvi C. 1994. Annotazioni a margine di una norma sulle condizioni ambientali per la conservazione di beni di interesse storico ed artistico. *Condizionamento dell'aria*.
- Filippi M. 1996. L'ambiente per la conservazione delle opere d'arte. *Condizionamento dell'aria*, 6, 719-733.
- Filippi M., Perino M., Mutani G. 2001. Field monitoring of the indoor environment in museums: a procedural approach for data processing. Proceedings of Clima 2000, Napoli, 15-18 settembre.

- Filippi M., Perino M. 2005. Le prestazioni delle vetrine museali ai fini del controllo del microclima – il controllo di frontiera. Atti del Convegno AICARR “Tecnologie impiantistiche per i musei”, Roma, 6 maggio.
- Fracastoro G.V. 1997. Qualità dell’aria. In: Impianti di climatizzazione per l’edilizia. Dal progetto al collaudo (Alfano G., Filippi M., Sacchi E. eds.), 46-65. Milano: Masson.
- Gasparini F. 1991. L’impiantistica e le raccolte d’arte: l’esperienza della pinacoteca di Brera. Atti del Convegno “Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici”, 97-102.
- Gatteschi A., Cubattoli M. 1991. Impianti di condizionamento per il museo d’arte contemporanea di Firenze. Atti del convegno “Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici”, 181-190.
- Giacoma S. 1991. Criteri di scelta impiantistica negli edifici monumentali e loro riscontri pratici nella realtà gestionale. Atti del Convegno “Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici”, 199-237.
- Giusti E., Innocenti R. 1989. Gli impianti negli edifici storici. Condizionamento dell’aria, 33(2), 207-213.
- Haiad J.C., Druzik J., Ayres J.M., Lau H. 1996. “Museum environmental requirements: a literature survey”. ASHRAE Transactions, 96(2), 112-121.
- Huber A. 1997. Il museo italiano. Milano: Edizioni Lybra Immagine.
- ICR, Regione Piemonte. 1983. Conservazione preventiva nei musei: il controllo dell’illuminazione, il controllo del clima. Roma ICCROM-ICR.
- Isetti C. 1997. Problematiche termoigrometriche relative alla conservazione di beni di interesse culturale. Atti della Giornata Seminariale AICARR “Microclima, qualità dell’aria e impianti negli ambienti museali”, 11-26, Firenze, febbraio.
- Isetti C., Magrini A. 1995. Controllo passivo dell’igrometria ambientale di vetrine museali: applicazione di una nuova metodologia. Atti del 50° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 933-944, St. Vincent.
- Jalla D. 2001. Standard di qualità e di risorse per i musei. Nuova Museologia, n. 1, 18-21.
- Jalla D. 2004. Workshop “Presente e futuro dell’ecomuseo”, 21-22 Maggio 2004 Lago d’Orta e Mottarone.
- Lombardi C., Casetta G. 1991. Il controllo del microclima nelle vetrine museali: sistemi passivi. Politecnico di Torino: Dipartimento di Energetica.
- Lorusso S., Marabelli M., Viviano G. 1995. La contaminazione ambientale ed il degrado dei materiali di interesse storico-artistico. Roma: Bulzoni Editore.
- Lorusso S. 2001. L’ambiente di conservazione dei beni culturali. Bologna. Pitagora editrice.
- Lorusso S. 2002. La diagnostica per il controllo del Sistema Manufatto-Ambiente. Bologna. Pitagora editrice.
- M.BB.CC. 2001. Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei. D.M. 10.5.2001, Supplemento ordinario alla G.U. n. 244, 19 ottobre 2001.

- M.BB.CC.AA. 2004. Codice dei beni culturali e del paesaggio. D. Lgs. N. 42 del 22.01.04.
- M.BB.CC. 1992. Norme di sicurezza per edifici Storici ed artistici destinati a musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche. DM 20/05/1992-n. 569.
- Magrini A., Chiari A. 1996. Analisi preliminare sulle condizioni igrometriche di alcuni ambienti destinati alla conservazione di beni artistici e storici, nel clima ligure. Atti del 51° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, 483-493, Udine.
- Magrini A., Chiari A. 1997. Controllo igrometrico passivo di ambienti destinati alla conservazione di opere d'arte: alcune considerazioni sui parametri significativi. Atti della Giornata Seminariale AICARR "Microclima, qualità dell'aria e impianti negli ambienti museali", 173-184, Firenze.
- Magrini U., Magrini A. 1991. Condizioni climatologiche e soluzioni impiantistiche per la conservazione delle opere d'arte in Liguria. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 113-126.
- Mazzei P., Capozzoli A., Minichiello F. 2005. Il controllo dell'umidità negli ambienti museali. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma, 6 maggio.
- Mecklenburg M.F., Tumosa C.S. 1999. "Temperature and Relative Humidity Effects on the Mechanical and Chemical Stability of Collections". ASHRAE Journal, 77-82.
- Michalski, S. 1994. Leakage Prediction for Buildings, Cases, Bags, and Bottles. *Studies in Conservation*. 39 (3), 169-186.
- Michalski S. 1999. Setting Standards for Conservation: New Temperature and Relative Humidity Guidelines Are Now Published. In: ICC Bulletin No. 24, November 1999.
- O'Connell M. s.d. *The New Museum Climate: Standards & Technologies*.
- Padfield, T. 1994 *The Role of Standards and Guidelines: Are They a Substitute for Understanding a Problem or a Protection against the Consequences of Ignorance?*. In: Durability and Change: the Science, Responsibility, and Cost of Sustaining Cultural Heritage, Report of the Dahlem Workshop on Durability and Change, Dec. 6-11, 1992. Chichester: John Wiley & Sons.
- Park S.C. 1999. HVAC for historic buildings". ASHRAE Journal,(4),91-99.
- Pellegrino A. 2005. L'illuminazione di vetrine espositive storiche e di nuova concezione: sistemi tradizionali e innovativi. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma, 6 maggio.
- Peron F., Chiesa R., Strada M. 1998. Indagine sulla qualità dell'aria all'interno di edifici di interesse storico-artistico. Atti del 53° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, 1, 192-197.
- Piva A. 1993. Riflessione su architettura ed impianti negli edifici storici. Il Museo civico di Cremona". *Condizionamento dell'aria*, 37(2), 192-197.
- Raffellini G. 1997. La qualità ambientale nei musei. Atti della Giornata Seminariale AICARR "Microclima, qualità dell'aria e impianti negli ambienti museali", VII-IX, Firenze, 7 febbraio.

- Raffellini G., Carletti C., Scurpi F. 2001. Indoor air quality in museums. Monitoring and assessing of indoor pollution: a case study. Atti del 7th REHVA World Congress-proceedings of Clima 2000-Napoli, C11, 86-96, 15-18 settembre.
- Raffellini G., Scurpi F., Toti L. 1997. La qualità dell'aria interna negli ambienti museali: problematiche ed esperienze". Atti del 52° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, 129-140, Como.
- Sacchi E., Gasparini F. 1996. La climatizzazione del cenacolo vinciano. Previsioni progettuali e riscontri su campo. *Condizionamento dell'aria*, 4, 485-498. 1996.
- Sacchi E. 1997. La qualità dell'aria in edifici storico-museali, una indagine su campo. Atti della giornata seminariale AICARR "Microclima, qualità dell'aria e impianti negli ambienti museali", 39-65, Firenze, 7 febbraio.
- Scurpi F. 1998. Sulle metodologie di misura dell'inquinamento gassoso all'interno di ambienti espositivi. Atti del 53° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, 1, 193-205.
- Serra Lerchenthal M. 1986. Impianti di illuminazione sperimentale Domus Aurea. Atti del Convegno "Manutenzione e conservazione del costruito tra tradizione e innovazione", 650-653, Bressanone.
- Spena A., Fagnoli G.M., Richetta M. 1997. Sull'impiego di modelli di simulazione per l'analisi delle condizioni di esposizione di dipinti su tela in gallerie d'arte: studio di un caso reale. Atti della Giornata Seminariale AICARR "Microclima, qualità dell'aria e impianti negli ambienti museali", 195-208, Firenze, febbraio.
- Stefanutti L. 1999. Musei e biblioteche. In: Applicazione di impianti di climatizzazione, 179-195. Tecniche nuove.
- Strada M., Stevan A., Strada E. 1991. Condizioni climatiche e tipologie impiantistiche per la salvaguardia delle opere d'arte. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici" 19-52.
- Tétreault, J. 2003. *Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management*. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Thomson G. 1986. The Museum Environment, Second Ed. London: Butterworth-Heinemann.
- UNI. 1997. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti. Norma UNI 10586. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- UNI. 1997. Ambienti termici moderati - Determinazione degli indici PMV e PPD e specifiche per le condizioni di benessere termico. Norma UNI EN ISO 7730. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- UNI. 1999. Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misure ed analisi. Norma UNI 10829. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- UNI. 2002. Ambienti termici. Strumenti e metodi per la misurazione delle grandezze fisiche. Norma UNI EN ISO 7726. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2002. Beni culturali – Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni. Norma UNI 10969. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2004. Beni culturali. Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti. Norma UNI 11120. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2004. Beni culturali – vetrine per esposizioni permanenti e temporanee – Identificazione, classificazione e marcatura. Progetto di norma U84000046. Commissione UNI Beni Culturali Gruppo di Lavoro 22. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI 2005. Beni culturali. Misurazione in campo dell'umidità dell'aria. Norma UNI 11131. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

Weintraub S. 2002. Demystifying silica gel. Object Specialty Group Postprints, 9. Washington, D.C.: American Institute for Conservation.

Yu D., Klein S.A., Reindl D.T. 2001. An Evaluation of Silica Gel for Humidity Control in Display Cases. WAAC Newsletter 23(2), 14-19.

Zecchin R., Rossi G., Vio M., Zecchin R. 1991. Inserimento degli impianti termotecnici negli edifici storici. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 53-72.

APPENDICE I

In questa appendice sono riportati, numerati per ordine alfabetico, i riferimenti bibliografici utilizzati in questa tesi.

Tali riferimenti sono stati poi raggruppati per argomento e brevemente discussi.

I primi sette riferimenti sono atti di convegni.

Aspetti termoigrometrici

Nei lavori [10], [11], [16], [22], [26], [37], [38], [39], [55], [56], [62], [63], [67], [68], [69], [70], [71],[74], [87] e [91] vengono esaminati gli aspetti termoigrometrici legati al microclima degli ambienti destinati alla conservazione degli oggetti di interesse culturale.

In particolare nel lavoro [69] si pone l'attenzione sull'importanza dell'umidità relativa dell'aria per la conservazione delle opere monumentali ed artistiche; si specifica come valori bassi ed elevati (intorno al 70%) di umidità possono danneggiare irrimediabilmente molti materiali ed in particolare quelli a base di cellulosa e quanto il rischio di danno sia maggiore in regime transitorio piuttosto che in regime permanente, in accordo con quanto riportato anche nei lavori [11], [22], [26], [56], [62], [67], [68] e [70]. Viene, inoltre considerata l'importanza della climatologia, in termini di caratterizzazione del sito mediante campagne di rilevamento sperimentale, soprattutto in

zone costiere dove la presenza di correnti umide dal mare o secche da terra comporta repentine variazioni microclimatiche. In questi casi è necessaria un'estesa campagna di monitoraggio ambientale per poter effettuare la scelta dei sistemi impiantistici più adeguati alle caratteristiche del sito in esame.

Nei lavori [10], [11], [37], [38], [39] e [71] l'attenzione è rivolta alla scelta dei valori e degli intervalli di temperatura ed umidità relativa dell'aria più opportuni per la conservazione delle collezioni, scelta quanto mai difficile dato il gran numero di fattori da prendere in considerazione (proprietà fisiche, meccaniche, reattività chimica e punti di transizione dei materiali ed aspetti relativi alla costruzione degli oggetti stessi). Si ribadisce che è l'umidità relativa il fattore determinante per ottenere ottimali condizioni di conservazione e si distinguono i materiali in base alla sensibilità nei confronti di questo parametro. Si suggerisce inoltre di individuare un intervallo "di compromesso" accettabile per la maggior parte degli oggetti (35-60%) e di conservare i manufatti più a rischio in microambienti a condizioni termoigrometriche differenziate, in accordo con quanto riportato anche nei lavori [91], [22] e [26].

Aspetti di qualità dell'aria

Nei lavori [8], [16], [17], [18], [26], [30], [35], [36], [41], [43], [46], [61], [74], [78], [80], [81], [82], [84], [85], [90] e [91] vengono esaminati gli aspetti relativi alla qualità dell'aria in termini di presenza di contaminanti (gassosi e particolato) negli ambienti destinati alla conservazione degli oggetti di interesse culturale.

In particolare, nei lavori [16] [17], [18], [61], e [90] vengono considerate per ciascun contaminante le possibili sorgenti, gli effetti sui materiali, i valori suggeriti e le misure possibili per ridurre il livello degli inquinanti nell'aria indoor ([61] e [90]). C'è da dire che i valori di riferimento non sempre coincidono e ciò conferma che in questo settore non è sempre possibile giungere alla definizione di standard accettati universalmente. Nelle pubblicazioni [16] e

[90] viene introdotto un ulteriore parametro di riferimento: il NOAEL di cui si parla nel capitolo 2. Gli articoli [8], [46], [80], [81], [82], [84] e [85] presentano i risultati di campagne di monitoraggio ambientale tenute presso alcune istituzioni museali. Nei lavori [14] e [15] vengono illustrate problematiche di qualità dell'aria relative alle persone. Negli articoli [32] e [34] aspetti generali di Indoor Air Quality.

Vetrine espositive

La problematica delle vetrine espositive è affrontata in maniera esaustiva nei lavori [19], [23], [27], [47], [57], [60], [72], [91], [100] e [101]. In particolare, viene esaminata la possibilità di controllare le condizioni termoigrometriche dell'aria, sia in termini di valori medi di lungo periodo, che di entità delle oscillazioni di breve periodo. A tal fine vengono descritti sia sistemi di tipo sia passivo sia attivo, analizzando di ciascuno pregi e difetti. In questi lavori particolare attenzione è data alle prove di tenuta all'aria ed ai gas delle teche espositive e vengono descritte metodologie sperimentali sia per il controllo passivo dell'umidità sia per la valutazione dei ricambi d'aria. Nel lavoro [47] l'analisi del controllo climatico viene affrontata in termini di controllo di frontiera, controllo passivo ed attivo delle vetrine, ed il problema della tenuta è analizzato specificando le differenze tra i meccanismi che influenzano le caratteristiche di permeabilità delle stesse. Inoltre, poiché in generale la stabilizzazione dell'umidità relativa avviene utilizzando sali o sostanze igroscopiche, nei lavori [19], [23], [27], [57], [60], [91], [100] e [101] è riportata una specifica trattazione del comportamento vetrina-buffer. L'articolo [72] riporta invece un approfondimento di tipo fisico-matematico dei meccanismi che regolano ed influenzano la portata di ventilazione e le possibilità di infiltrazione di aria, vapore e particolato in microambienti confinati quali appunto le vetrine museali.

I risultati dell'applicazione di metodologie sperimentali sono presentati in quasi tutti i riferimenti.

Aspetti impiantistici

Nei lavori [20], [24], [42], [45], [49], [50], [51], [52], [76], [79], [83], [88], [89] e [102] vengono descritte le problematiche relative all'impiantistica per la conservazione dei beni culturali. In particolare, sono affrontati gli aspetti relativi alla definizione delle condizioni di progetto e alla scelta delle tipologie impiantistiche, ponendo attenzione ai sistemi di distribuzione dell'aria ed alla regolazione dell'impianto. Sono ovviamente analizzate anche le specifiche difficoltà relative alla compatibilità impianto-edificio storico e riportate alcune esperienze progettuali.

Aspetti normativi

I riferimenti da [92] a [99] sono norme UNI relative al settore dei Beni culturali, il [31], [64], [65] e [66] sono atti legislativi, il [73] e [75] riguardano aspetti normativi internazionali e il [33] e [44] sono commenti a norme italiane.

Miscellanea

Nei lavori [9] e [13] si affrontano gli aspetti relativi alle variazioni di umidità dovute alla presenza di umidità di risalita nelle pareti.

Nei lavori [12], [21], [25], [55], [77] e [86] sono riportati lo stato dell'arte e i risultati di recenti ricerche relative agli aspetti illuminotecnica nei musei, con particolare riferimento alle problematiche di controllo della luce.

I lavori [54], [58] e [59] parlano in generale dei musei e delle attuali problematiche che riguardano tali istituzioni.

- [1] AA.VV. 1986. Manutenzione e conservazione del costruito tra tradizione e innovazione. Atti del Convegno “Scienza per i Beni Culturali”, Bressanone, 24-27 giugno.
- [2] AA.VV. 1997. Atti della Giornata Seminariale AICARR “Microclima, qualità dell’aria e impianti negli ambienti museali”, Firenze, 7 febbraio.
- [3] AA.VV. 2001. Proceedings of Workshop: Indoor environment engineering for heritage conservation, Clima 2000, Napoli, settembre.
- [4] AA.VV. 2003. Atti del Convegno “La conservazione preventiva delle raccolte museali”. Kermes quaderni, supplemento a Kermes La Rivista del Restauro, n. 49.
- [5] AA.VV. 2005. Atti del convegno AICARR Tecnologie impiantistiche per i musei. Roma, 6 maggio.
- [6] AA.VV. 2005. La carta nazionale delle professioni museali. Promossa dalla Conferenza Permanente delle Associazioni Museali Italiane. Milano, 24 ottobre.
- [7] AA.VV. 2005. Proceedings of Workshop on Indoor environment quality in Museums, Roma, 7 maggio.
- [8] Aghemo C., Filippi M., Lombardi C. 1986. Indagine sulla qualità ambientale nei musei: metodi e strumenti. Atti del 51° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, IVa, 27-38, Napoli.
- [9] Aghemo C., d’Ambrosio F.R., Dutto M.G., Fato I., Mollichelli V. 1994. Problemi di umidità in edifici storico-monumentali. Atti del 49° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 361-374, Perugia.
- [10] Aghemo C., Dutto M.G., Filippi M., Tinivella. 1995. Analisi e valutazione delle condizioni ambientali nel Museo Egizio di Torino”. Atti del 50° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 907-918, St. Vincent.
- [11] Aghemo C., Filippi M., Prato E. 1997. Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico. Ricerca bibliografica comparata. Comitato Giorgio Rota.
- [12] Aghemo C., Fellin L. 2005. Gli impianti nei musei: gli impianti di illuminazione”. Atti del Convegno AICARR “Tecnologie impiantistiche per i musei”. Roma, 6 maggio.
- [13] Alfano G., d’Ambrosio F.R., Riccio G. 1997. Degrado degli edifici dovuto ad umidità: prevenzione e bonifica”. In: Edilizia e Ambiente (A. Peretti e P. Simonetti eds.), 103-122. Arti Grafiche Padovane, Padova.
- [14] Alfano G., d’Ambrosio F.R., Liotti F., Peduto M., Perrotta A., G. Riccio. 2005. La Qualità dell’aria interna e i cancerogeni. In: Manuale di medicina legale (a cura di L. Palmieri). In corso di stampa
- [15] Alfano G., d’Ambrosio F.R., Riccio G. 2003. La misura della CO₂ per valutare l’IAQ. Atti Convegno AICARR “Sistemi e impianti per il controllo della qualità dell’aria e dell’umidità”, Napoli, febbraio.
- [16] ASHRAE. 2003. Museums, Libraries, and Archives. ASHRAE Applications Hand-

- book, 21. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.
- [17] Baer N.S., Banks P. 1985. Indoor air pollution: effects on cultural and historic materials. *The International Journal of Museum Management and Curatorship*, 4, 9-20.
- [18] Baer N.S., Banks P.N. 1987. Conservation notes. Environmental standards. *The International Journal of Museum Management and Curatorship*, 6, 207-209.
- [19] Baggio P., Bonacina C., Romagnoni P.C., Stevan A. 2005. Studio del microclima in vetrine a stabilizzazione passiva dell'umidità relativa in ambiente museale. *Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei"*, Roma, 6 maggio.
- [20] Bassi P. 1991. Interazione ed integrazione tra architettura ed impianti nella salvaguardia dei beni architettonici e storici. *Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici"*, 1-8.
- [21] Bellia L., Cesarano A., Spada G. 2005. Il controllo della luce nei musei: un compromesso tra esigenze di esposizione e problemi di degrado dei materiali. *Aspetti tecnici e normativi. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei"*, Roma, 6 maggio.
- [22] Bernardi A. 2004. Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali. Casa editrice Il prato, Padova.
- [23] Biava S., Caon S., Filippi M., Lombardi C. 1982. Sperimentazioni su un prototipo di vetrina museale corredato di un sistema passivo per il controllo igrometrico. *Atti del 47° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana*, 421, Parma.
- [24] Borgo A., Zecchin R. 2005. Gli impianti nei musei. Gli impianti di climatizzazione. *Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei"*, Roma, 6 maggio.
- [25] Bruni S., Bellomo G. 1991. L'illuminazione artificiale dei musei. *Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici"*, 157-170.
- [26] Camuffo D. 1998. Microclimate for cultural heritage. Amsterdam: Elsevier.
- [27] Cavallini, R. 2001. Le vetrine come strumenti per la protezione e conservazione preventiva. *Annali laboratorio museotecnico Goppion*, III.
- [28] Chastel A. 1980. L'Italia, museo dei musei. In: I musei (a cura di A. Emiliani), Milano: Touring Club Italiano.
- [29] Citterio M., Fagnoli G.M. 1997. Analisi di dati sperimentali di lungo periodo secondo il progetto di norma CTI: commenti su una applicazione presso la Galleria Borghese di Roma". *Atti della giornata seminariale AICARR "Microclima, qualità dell'aria e impianti negli ambienti museali"*, 209-217, Firenze.
- [30] Coltro S., Filippi M., Lombardi C., Vaudetti M., Aghemo C., Casetta G. 1989. Environmental auditing and measurement methodologies in museums. *Proceedings of European Symposium on "Science, Technology and european cultural heritage"*, Bologna. Butterworth, London.
- [31] Conferenza Stato-Regioni, 2001. *Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*. Accordo tra il Ministero della Salute, le regioni e le provincie autonome. *Gazzetta Ufficiale* n. 276 del 27.11.2001.

- [32] D'Agostino V. 2002. La qualità dell'aria negli ambienti museali. Tesi di Laurea. DETEC, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- [33] d'Ambrosio Alfano F.R., D'Agostino V. 2005. Standard Internazionali per gli ambienti museali. Proceedings of Workshop on Indoor environment quality in Museums, Roma, 7 maggio.
- [34] F.R. d'Ambrosio Alfano, B.I. Palella, G. Riccio. 2005. Indagine sperimentale sulle permeabilità all'aria delle griglie passive. Atti del 58° Congresso ATI, Roma, 13-16 settembre (su CD).
- [35] de Santoli L., Guidobaldi F., Muceli C.A. 2001. Marble "sensor" for air corrosivity monitoring in museum environment. Atti del 7th REHVA World Congress-proceedings of Clima 2000-Napoli, I, Napoli, 15-18 settembre.
- [36] de Santoli L., Levermore G. 2001. A Survey about 100 Museums in Rome: Use of a Questionnaire Rating Liking and Importance of Psycho-physical factors. Proceedings of Clima 2000, Napoli, C11, 49-58.
- [37] Erhardt D., Mecklenburg M.F. 1994. Relative Humidity RE-Examined. IIC Preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12-16.
- [38] Erhardt D., Mecklenburg M.F., Tumosa C.S. 1995. The determination of allowable RH fluctuations. WAAC Newsletter 17 (1) January.
- [39] Erhardt D., Mecklenburg M. F., Tumosa C.S., McCormick-Goodhart M. H. 1997. The Determination of Appropriate Museum Environments. In the Conference "The Interface Between Science and Conservation", British Museum Occasional Paper Number 116, London, 153-163.
- [40] Filippi M. 1987. Gli impianti nei musei. Condizionamento dell'aria, 31(8), 965-983.
- [41] Filippi M., Aghemo C., Casetta G., Lombardi. 1989. Auditing the museum environment: a project in Italy's Piedmont region. Museum, XLI(4), 235-240.
- [42] Filippi M. 1991. Tecnica del controllo ambientale per gli edifici storico-monumentali. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 9-18.
- [43] Filippi M., Aghemo C., Silvi C. 1992. Climatic risk in the conservation of historic buildings". Proceedings of 3rd International Conference on "Non-destructive testing, microanalytical methods and environmental evaluation for study and conservation of works of art", 965-974, Viterbo.
- [44] Filippi M., Lombardi C., Silvi C. 1994. Annotazioni a margine di una norma sulle condizioni ambientali per la conservazione di beni di interesse storico ed artistico. Condizionamento dell'aria.
- [45] Filippi M. 1996. L'ambiente per la conservazione delle opere d'arte. Condizionamento dell'aria , 6, 719-733.
- [46] Filippi M., Perino M., Mutani G. 2001. Field monitoring of the indoor environment in museums: a procedural approach for data processing. Proceedings of Clima 2000, Napoli, 15-18 settembre.
- [47] Filippi M., Perino M. 2005. Le prestazioni delle vetrine museali ai fini del controllo

- del microclima – il controllo di frontiera. Atti del Convegno AICARR “Tecnologie impiantistiche per i musei”, Roma, 6 maggio.
- [48] Fracastoro G.V. 1997. Qualità dell’aria. In: Impianti di climatizzazione per l’edilizia. Dal progetto al collaudo (Alfano G., Filippi M., Sacchi E. eds.), 46-65. Milano: Masson.
- [49] Gasparini F. 1991. L’impiantistica e le raccolte d’arte: l’esperienza della pinacoteca di Brera. Atti del Convegno “Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici”, 97-102.
- [50] Gatteschi A., Cubattoli M. 1991. Impianti di condizionamento per il museo d’arte contemporanea di Firenze. Atti del convegno “Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici”, 181-190.
- [51] Giacomina S. 1991. Criteri di scelta impiantistica negli edifici monumentali e loro riscontri pratici nella realtà gestionale. Atti del Convegno “Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici”, 199-237.
- [52] Giusti E., Innocenti R. 1989. Gli impianti negli edifici storici. *Condizionamento dell’aria*, 33(2), 207-213.
- [53] Haiad J.C., Druzik J., Ayres J.M., Lau H. Museum environmental requirements: a literature survey. 1996. *ASHRAE Transactions*, 96(2), 112-121.
- [54] Huber A. 1997. Il museo italiano. Milano: Edizioni Lybra Immagine.
- [55] ICR, Regione Piemonte. 1983. Conservazione preventiva nei musei: il controllo dell’illuminazione, il controllo del clima. Roma ICCROM-ICR.
- [56] Isetti C. 1997. Problematiche termoigrometriche relative alla conservazione di beni di interesse culturale. Atti della Giornata Seminariale AICARR “Microclima, qualità dell’aria e impianti negli ambienti museali”, 11-26, Firenze, febbraio.
- [57] Isetti C., Magrini A. 1995. Controllo passivo dell’igrometria ambientale di vetrine museali: applicazione di una nuova metodologia. Atti del 50° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 933-944, St. Vincent.
- [58] Jalla D. 2001. Standard di qualità e di risorse per i musei. *Nuova Museologia*, n. 1, 18-21.
- [59] Jalla D. 2004. Workshop “Presente e futuro dell’ecomuseo”, 21-22 Maggio 2004 Lago d’Orta e Mottarone.
- [60] Lombardi C., Casetta G. 1991. Il controllo del microclima nelle vetrine museali: sistemi passivi. Politecnico di Torino: Dipartimento di Energetica.
- [61] Lorusso S., Marabelli M., Viviano G. 1995. La contaminazione ambientale ed il degrado dei materiali di interesse storico-artistico. Roma: Bulzoni Editore.
- [62] Lorusso S. 2001. L’ambiente di conservazione dei beni culturali. Bologna. Pitagora editrice.
- [63] Lorusso S. 2002. La diagnostica per il controllo del Sistema Manufatto-Ambiente. Bologna. Pitagora editrice.
- [64] M.BB.CC. 2001. Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei. D.M. 10.5.2001, Supplemento ordinario alla

G.U. n. 244, 19 ottobre 2001.

- [65] M.BB.CC.AA. 2004. Codice dei beni culturali e del paesaggio. D. Lgs. N. 42 del 22.01.04.
- [66] M.BB.CC. 1992. Norme di sicurezza per edifici Storici ed artistici destinati a musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche. DM 20/05/1992-n. 569.
- [67] Magrini A., Chiari A. 1996. Analisi preliminare sulle condizioni igrometriche di alcuni ambienti destinati alla conservazione di beni artistici e storici, nel clima ligure. Atti del 51° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, 483-493, Udine.
- [68] Magrini A., Chiari A. 1997. Controllo igrometrico passivo di ambienti destinati alla conservazione di opere d'arte: alcune considerazioni sui parametri significativi. Atti della Giornata Seminariale AICARR "Microclima, qualità dell'aria e impianti negli ambienti museali", 173-184, Firenze.
- [69] Magrini U., Magrini A. 1991. Condizioni climatologiche e soluzioni impiantistiche per la conservazione delle opere d'arte in Liguria. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 113-126.
- [70] Mazzei P., Capozzoli A., Minichiello F. 2005. Il controllo dell'umidità negli ambienti museali. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma, 6 maggio.
- [71] Mecklenburg M.F., Tumosa C.S. 1999. "Temperature and Relative Humidity Effects on the Mechanical and Chemical Stability of Collections". ASHRAE Journal, 77-82.
- [72] Michalski, S. 1994. Leakage Prediction for Buildings, Cases, Bags, and Bottles. Studies in Conservation. 39 (3), 169-186.
- [73] Michalski S. 1999. Setting Standards for Conservation: New Temperature and Relative Humidity Guidelines Are Now Published. In: ICC Bulletin No. 24, November .
- [74] O'Connell M. s.d. The New Museum Climate: Standards & Technologies.
- [75] Padfield, T. 1994 The Role of Standards and Guidelines: Are They a Substitute for Understanding a Problem or a Protection against the Consequences of Ignorance?. In: Durability and Change: the Science, Responsibility, and Cost of Sustaining Cultural Heritage. Report of the Dahlem Workshop on Durability and Change, Dec. 6-11, 1992. Chichester: John Wiley & Sons.
- [76] Park S.C. 1999. HVAC for historic buildings. ASHRAE Journal,(4), 91-99.
- [77] Pellegrino A. 2005. L'illuminazione di vetrine espositive storiche e di nuova concezione: sistemi tradizionali e innovativi. Atti del Convegno AICARR "Tecnologie impiantistiche per i musei", Roma, 6 maggio.
- [78] Peron F., Chiesa R., Strada M. 1998. Indagine sulla qualità dell'aria all'interno di edifici di interesse storico-artistico. Atti del 53° Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, 1, 192-197.
- [79] Piva A. 1993. Riflessione su architettura ed impianti negli edifici storici. Il Museo civico di Cremona". Condizionamento dell'aria, 37(2), 192-197.

- [80] Raffellini G. 1997. La qualità ambientale nei musei. Atti della Giornata Seminariale AICARR “Microclima, qualità dell’aria e impianti negli ambienti museali”, VII-IX, Firenze, 7 febbraio.
- [81] Raffellini G., Carletti C., Scurpi F. 2001. Indoor air quality in museums. Monitoring and assessing of indoor pollution: a case study. Atti del 7th REHVA World Congress-proceedings of Clima 2000-Napoli, C11, 86-96, 15-18 settembre.
- [82] Raffellini G., Scurpi F., Toti L. 1997. La qualità dell’aria interna negli ambienti museali: problematiche ed esperienze”. Atti del 52° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 129-140, Como.
- [83] Sacchi E., Gasparini F. 1996. La climatizzazione del cenacolo vinciano. Previsioni progettuali e riscontri su campo. Condizionamento dell’aria, 4, 485-498.
- [84] Sacchi E. 1997. La qualità dell’aria in edifici storico-museali, una indagine su campo. Atti della giornata seminariale AICARR “Microclima, qualità dell’aria e impianti negli ambienti museali”, 39-65, Firenze, 7 febbraio.
- [85] Scurpi F. 1998. Sulle metodologie di misura dell’inquinamento gassoso all’interno di ambienti espositivi. Atti del 53° Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 1, 193-205.
- [86] Serra Lerchental M. 1986. Impianti di illuminazione sperimentale Domus Aurea. Atti del Convegno “Manutenzione e conservazione del costruito tra tradizione e innovazione”, 650-653, Bressanone.
- [87] Spena A., Fagnoli G.M., Richetta M. 1997. Sull’impiego di modelli di simulazione per l’analisi delle condizioni di esposizione di dipinti su tela in gallerie d’arte: studio di un caso reale. Atti della Giornata Seminariale AICARR “Microclima, qualità dell’aria e impianti negli ambienti museali”, 195-208, Firenze, febbraio.
- [88] Stefanutti L. 1999. Musei e biblioteche. In: Applicazione di impianti di climatizzazione, 179-195. Tecniche nuove.
- [89] Strada M., Stevan A., Strada E. 1991. Condizioni climatiche e tipologie impiantistiche per la salvaguardia delle opere d’arte. Atti del Convegno “Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici” 19-52.
- [90] Tétreault, J. 2003. Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- [91] Thomson G. 1986. The Museum Environment, Second Ed. London: Butterworth-Heinemann.
- [92] UNI. 1997. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti. Norma UNI 10586. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- [93] UNI. 1997. Ambienti termici moderati - Determinazione degli indici PMV e PPD e specifiche per le condizioni di benessere termico. Norma UNI EN ISO 7730. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- [94] UNI. 1999. Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misure ed analisi. Norma UNI 10829. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

cazione.

- [95] UNI. 2002. Ambienti termici. Strumenti e metodi per la misurazione delle grandezze fisiche. Norma UNI EN ISO 7726. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- [96] UNI. 2002. Beni culturali – Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni. Norma UNI 10969. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- [97] UNI. 2004. Beni culturali. Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti. Norma UNI 11120. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- [98] UNI. 2004. Beni culturali – vetrine per esposizioni permanenti e temporanee – Identificazione, classificazione e marcatura. Progetto di norma U84000046. Commissione UNI Beni Culturali Gruppo di Lavoro 22. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- [99] UNI 2005. Beni culturali. Misurazione in campo dell'umidità dell'aria. Norma UNI 11131. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- [100] Weintraub S. 2002. Demystifying silica gel. Object Specialty Group Postprints, 9. Washington, D.C.: American Institute for Conservation.
- [101] Yu D., Klein S.A., Reindl D.T. 2001. An Evaluation of Silica Gel for Humidity Control in Display Cases. WAAC Newsletter 23(2), 14-19.
- [102] Zecchin R., Rossi G., Vio M., Zecchin R. 1991. Inserimento degli impianti termotecnici negli edifici storici. Atti del Convegno "Impiantistica nella salvaguardia dei beni artistici e storici", 53-72. 1991

2. APPENDICE II

In questa appendice vengono riportate le schede informative relative alle più importanti organizzazioni museali al momento esistenti, organizzate in ordine alfabetico, così come sintetizzato in Tabella I.1.

Per ciascuna organizzazione vengono indicati, oltre ai riferimenti, anche le caratteristiche principali.

Tabella I.1 - Indice delle schede delle organizzazioni museali.

scheda	acronimo	organizzazione
1	A&MI	Archives & Museum Informatics
2	AAM	American Association of Museums
3	AIC	The American Institute for conservation of Historic and Artistic Works
4		The British Museum
5	CCI	Canadian Conservation Institute
6		Chicora Foundation, Inc.
7	CLIR	Council on Library and Information Resources
8	CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche. (Area della ricerca di Padova)
9	CoOL	Conservation Online
10	ECCO	The European Confederation of Conservator-Restorers' Organizations
11	GCI	The Getty Conservation Institute
12	IAMFA	International Association of Museum Facilities Administrator
13	IAQ in Museum and Archives	Indoor air Quality in Museum and Archives
14	ICCROM	ICCROM International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property
15	ICOM	The International Council of Museums
16	ICOM Italia	ICOM Italia Comitato Nazionale Italiano
17	ICOM-CIDOC	Committee for Documentation of The International Council of Museums
18	IIC	The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
19	JCMS	Journal of Conservation & Museum Studies

(continua)

Tabella I.1 - (segue)

scheda	acronimo	organizzazione
20	MGC	Museums & Gallery Commission
21		The National Gallery
22		The National Museum of Denmark
23	NCCR	The National Council for Conservation-Restoration
24	NEDCC	Northeast Document Conservation Center
25	NPS	National Park Service
26	NSCC	Northeast States Conservation Center
27	RIT	Rochester Institute of Technology
28		School of Conservation. The Royal Danish Academy of fine Arts
29	SCMRE	Smithsonian Center for Materials Research and Education
30	SSCR	Scottish Society for Conservation and Restoration
31	UKIC	United Kingdom Institute for Conservation

scheda n. 1	
acronimo	A&MI
denominazione	Archives & Museum Informatics
indirizzo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Archives & Museum Informatics, 2008 Murray Ave., Suite D, Pittsburgh, PA, 15217 USA
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.archimuse.com ▪ http://www.archimuse.com/mw/
E-mail	info@archimuse.com
n. telefonico	
n. fax	
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conferenze, workshop, seminari, pubblica riviste specializzate (journal) e monografie. E' un organo di informazione nell'ambito della conservazione dei beni culturali. ▪ La Conferenza: Museum & the Web ▪ Abstracts ed alcuni paper sul sito indicato nella sezione web site ▪ Atti ed abstracts delle conferenze Online

scheda n. 2	
acronimo	AAM
denominazione	American Association of Museums
indirizzo	AAM, 1575 Eye Street, N. W. Suite 400. Washington, DC 20005
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.aam-us.org ▪ “Museums News”: http://www.aam-us.org/pubp.htm ▪ “Professional Education Programs”: ▪ http://www.aam-us.org/profed.htm ▪ TIS (Technical Information Service) : ▪ http://www.aam-us.org/infocenter/index
E-mail	“Professional Education Programs” (seminari e workshop): seminars@aam-us.org
n. telefonico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ +1-202-289-1818 ▪ “Professional Education Programs” (seminari e workshop): +1-202-289-9144
n. fax	+1-202-289-6578
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Museums News”, rivista bimestrale specializzata contenente, tra l’altro, articoli di esperti delle varie discipline inerenti al settore conservazione. ▪ La sezione “Professional Education Programs” all’interno della quale è possibile trovare informazioni su seminari e workshops. ▪ Il TIS (Technical Information Service) e la sezione in esso contenuta “Describing the Museum Environment”. ▪ Il “Code of Ethics for Museums”

scheda n. 3	
acronimo	AIC
denominazione	The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
indirizzo	1717 K Street NW Ste., 200 Washington, DC 20006
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://aic.stanford.edu ▪ RATS: http://aic.stanford.edu/conspec/rats ▪ Abstracts: http://aic.stanford.edu/pubs/abstracts/ ▪ JAIC: http://aic.stanford.edu/pubs/jindex.html
E-mail	info@aic-faic.org
n. telefonico	+1-202-452-9545
n. fax	+1-202-452-9328
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'AIC "Code of Ethics and Guidelines for Practice" (AIC, 1994) il cui obiettivo principale è definire principi e pratiche per guidare la figura dell'"art conservator". ▪ Le sezioni "Caring for your treasures" e "Conservation Specialties", che delineano i principi di base per la corretta cura di diversi tipi di materiali di cui sono composti gli oggetti da preservare. ▪ La sezione del sito web relativo alle pubblicazioni di vari autori, con gli abstracts di alcune di esse. ▪ Il JAIC "Journal of The American Institute for Conservation", rivista specializzata contenente, tra l'altro, articoli di esperti delle varie discipline inerenti il settore della conservazione. ▪ Il RATS (Research And Technical Studies), sottogruppo di ricerca dell'AIC i cui obiettivi principali sono: <ul style="list-style-type: none"> - focalizzare i problemi e gli scopi degli studi sulla conservazione; - sostenere e supportare coloro che effettuano ricerche nel settore; - promuovere l'interazione e lo scambio di informazioni tra gli operatori nel campo della conservazione ed i ricercatori.

scheda n. 4	
acronimo	
denominazione	The British Museum
indirizzo	The British Museum, Great Russel Street, London WC1B 3DG
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.thebritishmuseum.ac.uk ▪ Sezione “Conservation”: http://www.thebritishmuseum.ac.uk/conservation ▪ Pubblicazioni: http://www.thebritishmuseum.ac.uk/conservation/research/publications ▪ Sezione “Scientific Research”: http://www.thebritishmuseum.ac.uk/science ▪ “Internet Archaeology”: http://intarch.ac.uk.
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sezione “Scientific Research”: science@thebritishmuseum.ac.uk ▪ conservation@thebritishmuseum.ac.uk ▪ Susan Bradley: sbradley@thebritishmuseum.ac.uk
n. telefonico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ The British Museum: +44-0-20-7323 ▪ Sezione “Scientific Research”: +44-0-20-7323-8279
n. fax	
funzionari (qualifica)	Susan Bradley (Head of Conservation Research Group)
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La sezione “Conservation”, le ricerche e le pubblicazioni dello staff del “Department of Conservation”. ▪ La sezione “Scientific Research”. ▪ La rivista “Internet Archaeology” disponibile on-line al sito sopraindicato.

scheda n. 5	
acronimo	CCI
denominazione	Canadian Conservation Institute
indirizzo	1030 Innes Road, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0M5
web site	http://www.cci-icc.gc.ca
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Service: cci-icc_service@pch.gc.ca ▪ Publications: cci-icc_publications@pch.gc.ca ▪ Library: cci-icc_library@pch.gc.ca ▪ Staff: firstname_lastname@pch.gc.ca
n. telefonico	+1-613-998-3721 chiedere del Client service, o delle Publications Sales, o del Library Service o di membri del CCI staff
n. fax	+1-613-998-4721
funzionari (qualifica)	Jean Tétreault (Conservation Scientist Canadian Conservation Institute); e-mail: jean_tetreault@pch.gc.ca
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I Services (servizi) <ul style="list-style-type: none"> - Trattamenti di conservazione e restauro - Esami ed analisi scientifiche - Servizi scientifici “ on-site” - Servizi di conservazione dei beni architettonici - Test su materiali d’archivio o biblioteca - Servizi di trasporto - Servizi di conservazione e scientifici in genere - Test su materiali d’archivio o biblioteca ▪ La sezione, interna al Conservation and Scientific Services, “Research & Development Projects”, contenente indicazioni di pubblicazioni, articoli e studi nel settore della scienza della conservazione. A riguardo citiamo il capitolo su “Museums, Libraries and Archives” dell’ASHRAE Application Handbook alla cui stesura il CCI ha partecipato all’interno di un gruppo di lavoro.

scheda n. 6	
acronimo	
denominazione	Chicora Foundation, Inc.
indirizzo	P.O. Box 8664 - 861 Arbutus Drive - Columbia, South Carolina 29202-8664
web site	http://www.chicora.org
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ general information: information@chicora.org ▪ Sales: publication@chicora.org
n. telefonico	+1-803-787-6910
n. fax	+1-803-787-6910
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ricerche e pubblicazioni. ▪ Managing: The Museum environment.

scheda n. 7	
acronimo	CLIR
denominazione	Council on Library and Information Resources
indirizzo	1t55 Massachusetts Avenue, N.W. Suite 500 Washington, DC 20036
web site	http://www.clir.org
E-mail	info@clir.org
n. telefonico	+1-202-939-4750
n. fax	+1-202-939-4765
funzionari (qualifica)	
di interesse	Pubblicazioni e reports online.

scheda n. 8	
acronimo	CNR
denominazione	Consiglio Nazionale delle Ricerche. (Area della ricerca di Padova)
indirizzo	Corso Stati Uniti, 4, 35127, Padova, Italia
web site	http://www.pd.cnr.it/
E-mail	
n. telefonico	+39-049- 82-95-611
n. fax	+39-049-82-95-671
funzionari (qualifica)	
di interesse	

scheda n. 9	
acronimo	CoOL
denominazione	Conservation Online
indirizzo	
web site	http://palimpsest.stanford.edu
E-mail	
n. telefonico	
n. fax	
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Walter Henry Conservation, Lab. Stanford University Libraries (Moderator Conservation DistList). ▪ e-mail: consdist-request@lindy.stanford.edu (per l'iscrizione al forum on line) ▪ consdist@lindy.stanford.edu (per inviare messaggi alla distlist)
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La Conservation Online, biblioteca on line contenente informazioni nel campo della conservazione dei beni culturali in biblioteche, archivi e musei. ▪ L'elenco dei Journals, Newsletters, Siti. E' utile utilizzare l'opzione "search" selezionando l'argomento di specifico interesse. ▪ Il forum on line Conservation DistList, una discussione aperta a tutti i membri su qualsiasi argomento inerente la conservazione. ▪ La bibliografia: "Practical Climate Control: A Selected, Annotated Bibliography". ▪ http://palimpsest.stanford.edu/byauth/kerschner/ccbiblio.html

scheda n. 10	
acronimo	ECCO
denominazione	The European Confederation of Conservator-Restorers' Organizations
indirizzo	
web site	http://www.palimpsest.stanford.edu/byorg/ecco/
E-mail	
n. telefonico	
n. fax	
funzionari (qualifica)	Gerlinde Tautschnig (presidente della ECCO)
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le attività rivolte allo sviluppo e promozione nel settore della conservazione dei beni culturali. ▪ Il documento "The Conservator-Restorers Professional Activity and Status and its Responsibility towards Cultural Heritage" che affronta gli aspetti legali e le responsabilità della professione del conservatore-restauratore.

scheda n. 11	
acronimo	GCI
denominazione	The Getty Conservation Institute
indirizzo	1200 Getty Center Drive, Los Angeles, CA 90049-1679
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.getty.edu ▪ Sezione "Conservation Institute": http://www.getty.edu/conservation/institute ▪ Sezione "PDF Publication del Conservation Institute": http://www.getty.edu/conservation/resources/reports
E-mail	Sezione "Conservation Institute": cgiweb@getty.edu
n. telefonico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ The Getty Conservation Institute: +1-310-440-7300 ▪ Sezione "Conservation Institute": +1-310-440-7325
n. fax	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sezione "Conservation Institute": +1-310-440-7302
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Settore "Progetti & Scienza della Conservazione": Jeanne Marie Teutonico ▪ Settore "Progetti": Francois Le Blanc ▪ Settore "Information Resources": Luke Gilliland ▪ Settore "Programmi e Comunicazioni Pubbliche": Kristin Kelly
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le pubblicazioni in PDF (Portable Document Format), comprendenti libri, relazioni e linee-guida nel settore della conservazione dei beni culturali.

scheda n. 12	
acronimo	IAMFA
denominazione	International Association of Museum Facilities Administrator
indirizzo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ P.O. Box (Casella Postale) 1505, Washington, DC 20013-1505 ▪ Peter Fotheringham, National Gallery, Trafalgar Square, London, England WC2N SDN
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.IAMFA.org ▪ Il journal "<i>Papyrus</i> : http://www.IAMFA.org/iamfaorg.Htm#PapyrusEditor
E-mail	Peter.Fotheringham@ng-london.org.uk
n. telefonico	+44-171-747-5801
n. fax	+44-171-747-5806
funzionari (qualifica)	Per informazioni: Peter Fotheringham (presidente IAMFA)
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le conferenze annuali ▪ Il journal "<i>Papyrus</i>

scheda n. 13	
acronimo	IAQ in Museum and Archives
denominazione	Indoor air Quality in Museum and Archives
indirizzo	
web site	http://www.iaq.dk
E-mail	
n. telefonico	
n. fax	
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informazioni, ricerche, articoli e pubblicazioni su tutto ciò che riguarda la conservazione dei beni culturali. In particolare abstracts e studi sui processi di deterioramento dei materiali e sugli effetti della qualità dell'aria sugli oggetti conservati in musei, archivi e biblioteche. ▪ Atti e reports di meeting e conferenze.

scheda n. 14	
acronimo	ICCROM
denominazione	ICCROM International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property
indirizzo	via di San Michele 13, Roma, Italia
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.iccrom.org ▪ Library: http://library.iccrom.org
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ iccrom@iccrom.org ▪ Office of Communication and Information: oci@iccrom.org ▪ Library: library@iccrom.org ▪ Publications : publications@iccrom.org
n. telefonico	+39-06-585.531
n. fax	<ul style="list-style-type: none"> ▪ +39-06-585.53.349 ▪ Publications: +39-06-585.53.349
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Direttore generale: N.S. Price (+39-06-585.340) ▪ Assistente Biblioteca: G. Paganelli (+39-06-585.53.389)
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La Storia: l'ICCROM fu fondata nel 1956 alla IX Conferenza Generale dell'UNESCO in Nuova Delhi, in un periodo di grande interesse per la protezione e la conservazione dei beni culturali. E' l'unica istituzione, nel suo genere, con un mandato mondiale per la promozione della conservazione di tutti i tipi di beni culturali. Comprende 103 Stati Membri e 103 Membri Associati. ▪ La biblioteca (comprensiva dei periodici nazionali ed internazionali). ▪ Le Publication Sales (con distribuzione free)

scheda n. 15	
acronimo	ICOM
denominazione	The International Council of Museums
indirizzo	Maison de l'UNESCO, 1 rue Miollis, 75732 Parigi cedex 15, Francia
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.icom.org ▪ ICOM-CC: http://www.icom-cc.org ▪ Atti: http://www.icom.org/index/organiz/icomcc_ethics ▪ Definizione "Museo": http://www.icom.org/definition ▪ Catalogo biblioteca: http://www.icom.org/ilca
E-mail	secretariat@icom.org
n. telefonico	+33-01-4734-0500
n. fax	+33-01-4306-7862
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ per informazioni su ICOM-CC contattare I. Verger c/o ICCROM ▪ e-mail: icom-cc@iccrom.org ▪ Co-ordinator del working group "Preventive Conservation" M. Cassar; e-mail: m.cassar@ucl.ac.uk ▪ Dr Nigel Blades
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ICOM-CC (Committee for Conservation) ▪ The Code of Ethics of the ICOM Committee for Conservation. Pubblicato nella Committee's Newsletter n. 4, 1986, che si propone di stabilire obiettivi, principi e caratteristiche della professione del Conservatore e di tutte le professionalità coinvolte in ambito museale. In esso è contenuta la definizione di conservatore-restauratore: "The Conservator-Restorer: a Definition of the Profession". ▪ Gli atti delle conferenze triennali: Conference Preprints ▪ Il "Codice di deontologia professionale dell'ICOM", insieme delle regole di etica professionale il cui rispetto è considerato requisito fondamentale per poter esercitare la professione museale. In esso è richiamato anche l'articolo 2.1 dello statuto dell'ICOM in cui viene definito "il museo". ▪ Il Working Group "Preventive Conservation", che comprende tutte le attività rivolte alla conservazione delle opere d'arte. ▪ Il catalogo della biblioteca ICOM

scheda n. 16	
acronimo	ICOM Italia
denominazione	ICOM Italia Comitato Nazionale Italiano
indirizzo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Via S. Vittore 19/21- 20123 Milano ▪ “Nuova Museologia”: via V. Foppa, 16, 20144 Milano
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.icom-italia.org/ ▪ “Nuova Museologia”: http://www.nuovamuseologia.org
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ icomit@iol.it ▪ “Nuova Museologia”: nuovamuseologia@iol.it
n. telefonico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 02-48-555-338/02-46-95-693 ▪ “Nuova Museologia”: 02-469-15-89
n. fax	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 02-439-19-840 ▪ “Nuova Museologia”: 02-469-15-89
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il Codice di deontologia, traduzione in italiano del “Code of Ethics” of the ICOM Committee for Conservation. ▪ “Nuova Museologia”: rivista semestrale di museologia ▪ Il Giornale Ufficiale del Comitato Italiano dell’ICOM e dell’Associazione Nazionale dei Musei di Enti Locali e Istituzionali (ANMLI)

scheda n. 17	
acronimo	ICOM-CIDOC
denominazione	Committee for Documentation of The International Council of Museums
indirizzo	
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.cidoc.icom.org ▪ Museum information standards: ▪ http://www.cidoc.icom.org/stand0.htm ▪ Sources of Information: museums and the Internet ▪ Newsletter, Guides, Journals, Journal articles: ▪ http://www.cidoc.icom.org/netref1 ▪ CIDOC Conceptual Reference Model (CRM) Special Interest Group: Working Group of the CIDOC: ▪ http://www.cidoc.ics.forth.gr/crm_intro.html ▪ CIDOC Group on museum Information Centres: ▪ http://www.cidoc.icom.org/infocent.htm ▪ CIDOC Archaeological Sites Working Group (CIDOC Denmark): ▪ http://www.cidoc.natmus.dk/engelsk/introduction.asp
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Martin Doerr (+30-81-39-16-25, Greece); e-mail: martin@ics.forth.gr ▪ Nick Crofts; e-mail nickcrofts@yahoo.com
n. telefonico	+45-3347-3885
n. fax	+45-3347-3307
funzionari (qualifica)	Lene Rold (segretaria CIDOC), The National Museum of Denmark
di interesse	

scheda n. 18	
acronimo	IIC
denominazione	The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works
indirizzo	6 Buckingham Street, London, WC2N 6BA, UK
web site	http://iiconservation.org
E-mail	iicon@compuserve.com
n. telefonico	+44-020-7839-5975
n. fax	+44-020-7976-1564
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La rivista “Studies in Conservation”, trimestrale contenente articoli originali e revisioni sugli sviluppi nella scienza della conservazione e del restauro. ▪ La rivista “Reviews in Conservation”, pubblicata annualmente.

scheda n. 19	
acronimo	JCMS
denominazione	Journal of Conservation & Museum Studies
indirizzo	
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.jcms.ucl.ac.uk ▪ Il journal è disponibile anche ai siti: http://www.ucl.ac.uk/archaeology/conservation/jcms/ http://palimpsest.stanford.edu (Conservation OnLine, USA)
E-mail	jcms@ucl.ac.uk
n. telefonico	
n. fax	
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il Journal, pubblicato sotto il patronato dell'”Institute of Archaeology of The University College of London”; è una pubblicazione del tipo World Wide Web contenente articoli, nel settore della conservazione dei beni culturali. Gli abstract e le introduzioni ai singoli articoli sono disponibili online.

scheda n. 20	
acronimo	MGC
denominazione	Museums & Gallery Commission
indirizzo	16 Queen Anne's Gate, London SW1H 9AA
web site	http://www.museum.gov.uk
E-mail	
n. telefonico	+44-171-233-42-00
n. fax	+44-171-233-36-86
funzionari (qualifica)	
di interesse	Pubblicazioni e "Fact Sheet" online.

scheda n. 21	
acronimo	
denominazione	The National Gallery
indirizzo	The National Gallery, Trafalgar Square, London WC2N 5DN
web site	http://www.nationalgallery.org.uk
E-mail	information@ng-london.org.uk
n. telefonico	+44-0-20-7747-2423
n. fax	+44-0-20-7747-2423
funzionari (qualifica)	
di interesse	

scheda n. 22	
acronimo	
denominazione	The National Museum of Denmark
indirizzo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ The National Museum of Denmark Frederiksholms Kanal 12, DK 1220 Copenhagen K ▪ The National Museum of Denmark . Conservation Department, Brede P.O. Box 260, DK-2800 Lyngby.
web site	http://www2.natmus.dk
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nationalmuseet@natmus.dk ▪ cons@natmus.dk
n. telefonico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ The National Museum of Denmark : +45-3313-4411 ▪ Conservation Laboratory: +45-33-47-35-02
n. fax	<ul style="list-style-type: none"> ▪ The National Museum of Denmark : +45-3347-3333 ▪ Conservation Laboratory : +45-33-47-33-27
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tim Padfield (Conservation Department); e-mail: tim@padfield.dk Mr. Morten Ryhl-Svendsen (Conservation Laboratory); e-mail: morten.ryhl-svendsen@natmus.dk
di interesse	Publicazioni

scheda n. 23	
acronimo	NCCR
denominazione	The National Council for Conservation-Restoration
indirizzo	
web site	http://www.nccr.org.uk/
E-mail	
n. telefonico	
n. fax	
funzionari (qualifica)	
di interesse	Congressi e seminari

scheda n. 24	
acronimo	NEDCC
denominazione	Northeast Document Conservation Center
indirizzo	100 Brikstone Square Andover, MA 01810-1494
web site	http://www.nedcc.org
E-mail	
n. telefonico	+1-978-470-1010
n. fax	+1-978-475-6021
funzionari (qualifica)	
di interesse	Il Manuale Preservation Of Library & Archival Materials, parte dei Technical Leaflet sono stati scaricati via internet e catalogati, ad es. la section 2 “The Environment : Monitoring Temperature And Relative Humidity”. Il testo contiene links ed un elenco di produttori di sistemi di monitoraggio.

scheda n. 25	
acronimo	NPS
denominazione	National Park Service
indirizzo	
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.nps.gov ▪ “Conserve O Gram”: http://www.cr.nps.gov/csd/publications/conservoogram/conserv.html.
E-mail	
n. telefonico	
n. fax	
funzionari (qualifica)	Theresa Carr (National Park Service U.S. Department Of The Interior, Harper Ferry Center, Department of Conservation) e-mail: Theresa_Carr@nps.gov
di interesse	La serie di pubblicazioni “Conserve O Gram”, contenente articoli relativi settore della conservazione quale ad es. il N° 3/3 del giugno 2001 intitolato “Datalogger Application In Monitoring The Museum Environment, Part 1: Comparison Of Temperature And Relative Humidity Dataloggers”.

scheda n. 26	
acronimo	NSCC
denominazione	Northeast States Conservation Center
indirizzo	P.O. box 8081, St. Paul, MN 55108
web site	http://www.collectioncare.org
E-mail	info@collectioncare.org
n. telefonico	+1-612-378-9379
n. fax	
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La sezione Environment, in special modo la sottosezione Monitoring Temperature And Relative Humidity. ▪ Suggestimenti su testi, siti e case produttrici di sistemi di monitoraggio ambientale.

scheda n. 27	
acronimo	RIT
denominazione	Rochester Institute of Technology
indirizzo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rochester Institute of technology, 70 Lomb Memorial Drive, Rochester, NY 14623-5604 ▪ Image Permanence Institute c/o RIT
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.rit.edu/ ▪ IPI: http://www.rit.edu/ipi
E-mail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IPI: ipiwww@rit.edu ▪ ITS HelpDesk: helpdesk@rit.edu
n. telefonico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IPI: +1-716-475-5199 ▪ ITS HelpDesk: +1-716-475-HELP (4357) or 475-2810 (TTY)
n. fax	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IPI: +1-716-475-7230
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ITS: Gannet Building, room 7B-1113 ▪ Douglas (Doug) W. Nishimura (REsearch Scientist Image Permanence Institute), suggerisce di contattare il suo collega Ed Zinn. ▪ Douglas W. Nishimura: dwnpph@ritvax.rit.edu
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IPI (The Image Permanence Institute): ▪ Il laboratorio di ricerca, attualmente impegnato nello studio degli effetti, dovuti a condizioni di conservazione non stabili, sul degrado dei materiali. Alla fine del progetto sarà pubblicato il testo dal titolo approssimativo "Environmental Cycling: A Guide for Collection Managers, Librarians, and Archivists". ▪ Il PEM (Preservation Environment Monitor), misuratore di temperatura ed umidità relativa rivolto al monitoraggio nei magazzini. ▪ Il Climate Notebook Software: un software dedicato all'analisi di dati relativi alla temperatura ed all'umidità relativa in magazzini ed aree dedicate alla conservazione ed esposizione di beni culturali. ▪ Il Preservation Calculator, programma, semplice da utilizzare, come strumento di progetto ed analisi delle condizioni ambientali in biblioteche, archivi e musei. ▪ ITS: Information & Technology Service

scheda n. 28	
acronimo	
denominazione	School of Conservation. The Royal Danish Academy of fine Arts
indirizzo	School of Conservation. Esplanaden 34, DK-1263 Copenhagen K
web site	http://www.kulturnet.dk/homes/ks/e_index.htm
E-mail	kons@kons.dk
n. telefonico	+45-33-74-47-00
n. fax	+45-33-74-47-77
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mr. Morten Ryhl-Svendsen al Danish National Museum; e-mail: morten.ryhl-svendsen@natmus.dk
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ricerche e progetti di studio.

scheda n. 29	
acronimo	SCMRE
denominazione	Smithsonian Center for Materials Research and Education
indirizzo	Smithsonian Institution, Museum Support Center Room F2013, 4210 Silver Hill Road, Suitland MD 20746-2863
web site	http://www.si.edu/scmre
E-mail	web@scmre.si.edu
n. telefonico	+1-301-238-3700x118
n. fax	+1-301-238-3709
funzionari (qualifica)	Charles Tumosa, Ph.D. Senior Research Chemist; e-mail: Tumosa@scmre.si.edu
di interesse	

scheda n. 30	
acronimo	SSCR
denominazione	Scottish Society for Conservation and Restoration
indirizzo	SSCR, Chantstoun, Tartraven, Bathgate Hills, West Lothian, EH48NP, Scotland, UK
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.sscr.demon.co.uk/ ▪ “SSCR journal”: http://www.sscr.demon.co.uk/html/journal.htm
E-mail	admin@sscr.demon.co.uk
n. telefonico	+44-0-1506-811-777
n. fax	+44-0-1506-811-888
funzionari (qualifica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carol E. Brown (Conservation Bureau manager) ▪ e-mail: cbrown.hs.scb@gt.net
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informazioni sui congressi ed i corsi nel settore della conservazione dei beni culturali. ▪ “SSCR journal”, rivista trimestrale. ▪ Pubblicazioni

scheda n. 31	
acronimo	UKIC
denominazione	United Kingdom Institute for Conservation
indirizzo	109 The Chandlery, 50 Westminster Bridge Road, London SE1 7QY, United Kingdom
web site	<ul style="list-style-type: none"> ▪ http://www.ukic.org.uk ▪ http://www.palimpsest.stanford.edu/ukic
E-mail	
n. telefonico	+44-20-7721-8721
n. fax	+44-20-7721-8722
funzionari (qualifica)	
di interesse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pubblicazioni (for sale). ▪ La rivista annuale dell’ United Kingdom Institute for Conservation denominata “Conservation News”.

APPENDICE III

In questa appendice vengono riportate le indicazioni sui produttori e/o distributori di prodotti e servizi di interesse nel campo della conservazione.

In Tabella III.1 sono riportati i distributori per ciascuna categoria di prodotto e servizio.

In Tabella III.2 è riportato l'elenco dei produttori e/o distributori con il numero della corrispondente scheda informativa.

Tabella III.1 – Produttori e/o distributori per ciascun prodotto e servizio di interesse nei beni culturali.

KeyWords	data loggers	misuratori di CO ₂	misuratori di NO _x e SO _x	misuratori temperatura e umidità	silica gel	assorbitori Umidità	assorbitori di gas	monitoraggio microclimatico	vetrine/vetro	restauro e manutenzione	consulenza di conservazione preventiva	illuminotecnica	realizzazioni espositive	diagnostica	conservazione per esposizione e deposito	vetrine + sistema controllo microclima	arredamenti	formazione
Produttore																		
ACR Systems Inc.	x																	
Analitica Strumenti	x	x	x	x				x										
ANTEK Instruments L.P		x	x	x														
ARCADIA RICERCHE										x	x			x				x
Art preservation Services	x			x	x													
Barth /Glasbau Hahn									x				x				x	
BENVENUTO									x									
Campbell Scientific Ltd.																		
Controldepot.net		x	x	x														
DE.CO.STA Srl	x			x														
Eurotherm S.p.A	x	x	x	x														
EUOTRON	x			x														
Instruments S.p.A																		
Fuji Silysia Chemical Ltd.					x	x												
Gaylord					x	x												
GeeJay Chemicals Ltd.					x	x												

(continua)

Tabella III.1 – (segue)

KeyWords	Produttore																	
	dataloggers	misuratori di CO2	misuratori di NO _x e SO _x	misuratori temperatura e umidità	silica gel	assorbitori Umidità	assorbitori di gas	monitoraggio microclimatico	vetrine/vetro	restauro e manutenzione	consulenza di conservazione preventiva	illuminotecnica	realizzazioni espositive	diagnostica	conservazione per esposizione e deposito	vetrine + sistema controllo microclima	arredamenti	formazione
Goppion s.r.l.									x		x	x	x					
GrayWolf	x	x	x	x				x										
Invensys Controls Italy	x			x														
ISOIL INDUSTRIA	x			x														
LabService Analitica		x	x					x										x
Lambda Scientifica Srl	x			x				x										x
MicroDAQ.com	x	x		x														
Remote Measurement Systems		x	x	x				x										
SI.MA.CO. di Resti Raffaello	x	x		x														
SIDAT S.p.A.																		
SIRIO srl	x			x														
Sud-Chemie Performance Packaging					x													
SYREMONT																		x
ThermoGasTech	x	x	x	x														
TSI	x	x	x	x														
Vetro service srl									x									

Tabella III.1 – Produttori e/o distributori con il numero della corrispondente scheda informativa.

produttore	scheda
ACR Systems Inc.	1
Analitica Strumenti	2
ANTEK Instruments L.P	3
ARCADIA RICERCHE	4
Art preservation Services	5
Barth-Innenausbau	6
BENVENUTO Mastri Vetrai	7
Campbell Scientific Ltd.	8
Controldepot.net	9
DE.CO.STA Srl	10
Eurotherm S.p.A	11
EUROTRON Instruments S.p.A	12
Fuji Silysia Chemical Ltd.	13
Gaylord	14
GeeJay Chemicals Ltd.	15
Goppion s.r.l., Laboratorio museotecnico	16
GrayWolf Sensing Solutions, LTD	17
Invensys Controls Italy	18
ISOIL INDUSTRIA S.p.A.	19
LabService Analitica	20
Lambda Scientifica srl	21
MicroDAQ.com	22
Remote Measurement Systems	23
SI.MA.CO. di Resti Raffaello	24
SIDAT S.p.A.	25
SIRIO srl	26
Sud-Chemie Performance Packaging	27
SYREMONT	28
ThermoGasTech	29
TSI Incorporated	30
Vetro service srl	31

1	
Denominazione Società	ACR Systems Inc.
Indirizzo	Building 210, 12960 84th Avenue, Surrey, British Columbia Canada, V3W 1K7
E-mail	enquiry@acrsystems.com
Tel.	+1.604.591.1128 +1.800.663.7845
Fax	+1.604.591.2252
Web Site	http://www.acrsystems.com/
Servizi e Prodotti/servizi	Dataloggers
Descrizione prodotti/servizi	

2	
Denominazione Società	Analitica Strumenti
Indirizzo	via degli Abeti, 144, 61100 Pesaro
E-mail	info@analiticastrumenti.com
Tel.	0721.26243
Fax	0721.26285
Web Site	http://www.analiticastrumenti.com
Prodotti/servizi e servizi	Strumentazione per monitoraggi ambientali, strumenti per il controllo della qualità dell'aria
Descrizione prodotti/servizi	

3	
Denominazione Società	ANTEK Instruments L.P
Indirizzo	300 Bammel Westfield Road, Houston, TX 77090, USA
E-mail	sales@antekhou.com service@antekhou.com
Tel.	+800. 365.2143 +281.580.0339
Fax	+281.580.0719
Web Site	http://www.antekhou.com
E-mail	http://www.antekhou.com/contact.htm
Prodotti/servizi e servizi	Gas monitor
Descrizione prodotti/servizi	Monitoraggio contaminanti gassosi

4	
Denominazione Società	ARCADIA RICERCHE s.r.l. INDAGINI CONOSCITIVE E DIAGNOSTICHE PER IL RESTAURO
Indirizzo	via delle Industrie 25/11, 30175 Marghera (VE), c/o Parco Scientifico e Tecnologico di Venezia - VEGA
E-mail	arcadia@vegapark.ve.it
Tel.	041.5093048
Fax	041.5093098
Web Site	http: www.arcadiaricerche.it
Prodotti/servizi	Società di servizi
Descrizione prodotti/servizi	Laboratorio di indagini e studi diagnostici e società di supporto alla progettazione, alla valutazione di prodotti/servizi e metodologie, allo sviluppo di tecnologie innovative.

5	
Denominazione Società	Art Preservation Services
Indirizzo	315 E. 89th St., New York, N.Y. 10128
E-mail	information@apsnyc.com
Tel.	+1.21.27.22.6300
Fax	+1.21.24.27.6726
Web Site	http://www.apsnyc.com/
Prodotti/servizi	Silica Gel Termoigrometri, psicrometri, igrotermografi, visible light meter, datalogger per monitoraggi ambientali
Descrizione prodotti/servizi	Silica gel secco e con valore di umidità relativa a scelta dell'acquirente

6	
Denominazione Società	Barth-Innenausbau Arredamenti Firma Barth è partner italiano della GLASBAU HAHN
Indirizzo	Innenausbau K.G./Arredamenti S.A.S. des Ivo Barth & Co. J. Durst STR. 38, I-39042 Brixen/Bressanone (BZ)
E-mail	info@barth.it info@glasbau-hahn.com
Tel.	0472.271900
Fax	0472.271999
Web Site	http://www.barth.it/ http://www.glasbau-hahn.com/
Prodotti/servizi	Arredamenti museali
Descrizione prodotti/servizi	varie tipologie di vetrine museali a tenuta (table case, wall case, free-standing display case), tecnologie brevettate per il controllo microclimatico e di qualità dell'aria delle vetrine, protezione antisismica

7	
Denominazione Società	BENVENUTO Mastri Vetrai in Treviso
Indirizzo	Via Cà Zenobio, 33, 31100 TREVISO
E-mail	info@technovetro.com
Tel.	0422.430969
Fax	0422.431887
Web Site	http://www.technovetro.com/
Prodotti/servizi	Vetrine museali e teche in cristallo
Descrizione prodotti/servizi	Le vetrine e le teche sono realizzate con cristallo extrachiaro o bianco ottico, stratificato o rinforzato, con trattamento antiriflesso per evitare i classici disturbi ottico-visivi conosciuti come "effetto specchio", cristalli "blindati" che mantengano però le stesse caratteristiche di trasmissione luminosa e trasparenza di cristalli più sottili.

8	
Denominazione Società	Campbell Scientific Ltd.
Indirizzo	Campbell Park, 80 Hathern Road, Shepshed Loughborough, LE12 9GX, United Kingdom Ecosearch srl , Via R.Morandi 26, 06012 Città di Castello (PG)
E-mail	sales@campbellsci.co.uk support@campbellsci.co.uk ecosearch@ecosearch.it
Tel.	0758 557 558
Fax	0758 555 986
Web Site	http://www.campbellsci.com http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?cid=8&id=603 http://www.ecosearch.info/
Prodotti/servizi	Datalogger
Descrizione prodotti/servizi	

9	
Denominazione Società	Controldepot.net
Indirizzo	5301 NW 35th Terrace, Ft. Lauderdale Fl 33309
E-mail	info@controldepot.net
Tel.	+1.954 739 5276
Fax	+1.954 485 7006
Web Site	http://www.controldepot.net
Prodotti/servizi e servizi	Sensori di temperatura, umidità, CO2
Descrizione prodotti/servizi	

10	
Denominazione Società	DE.CO.STA Srl
Indirizzo	Via Bicetti de Buttinoni, 12, 20156, Milano
E-mail	decostai@tin.it
Tel.	02.38003630
Fax	02.38003631
Web Site	
Servizi e Prodotti/servizi	Monitor CO ₂ , Sistemi modulari per il controllo della qualità dell'aria, della temperatura e dell'umidità relativa
Descrizione prodotti/servizi	

11	
Denominazione Società	Eurotherm SpA
Indirizzo	Via XXIV maggio, 22070 Guanzate (CO)
E-mail	info@eurotherm.it
Tel.	031.975 111
Fax	031.977 512
Web Site	http://www.eurotherm.it/
Prodotti/servizi e servizi	Registratori e sistemi di controllo, datalogger
Descrizione prodotti/servizi	Misure di umidità, temperatura, pressione, rilevazione gas inquinanti, multistreamer

12	
Denominazione Società	EUROTRON Instruments S.p.A
Indirizzo	Via 1° maggio, 20046 Biassono (MI)
E-mail	info@eurotron.com
Tel.	02.24.88.20
Fax	02.24.02.86
Web Site	http://www.eurotron.com
Prodotti/servizi	Datalogger per monitoraggio in continuo
Descrizione prodotti/servizi	

13	
Denominazione Società	Fuji Silysia Chemical Ltd.
Indirizzo	2-1846 Kozoji-cho, Kasugai, Aichi, Japan, 487-0013 Silysiamont S.p.A, Viale Lombardia, 20 20021 Bollate (MI), Italy
E-mail	sales@fuji-silysia.co.jp
Tel.	02.38352176
Fax	02.38352364
Web Site	http://www.fuji-silysia.co.jp/english/index.html
Prodotti/servizi	Silica gel
Descrizione prodotti/servizi	

14	
Denominazione Società	Gaylord
Indirizzo	Gaylord Bros., Inc., PO Box 4901, Syracuse, NY 13221, 4901
E-mail	
Tel.	1.800.448.6160
Fax	1.800.272.3412
Web Site	http://www.gaylordmart.com/
Prodotti/servizi	Silica gel
Descrizione prodotti/servizi	

15	
Denominazione Società	GeeJay Chemicals Ltd.
Indirizzo	16, Gosforth Close, SANDY, Bedfordshire England, SG19 1RB
E-mail	sales@geejaychemicals.co.uk
Tel.	+44.17.67.68.27.74
Fax	+44.17.67.69.24.09
Web Site	http://www.geejaychemicals.co.uk/
Indirizzo	16, Gosforth Close, SANDY, Bedfordshire England, SG19 1RB
Prodotti/servizi	Silica gel
Descrizione prodotti/servizi	

16	
Denominazione Società	Goppion s.r.l. , Laboratorio museotecnico
Indirizzo	Viale Edison 58, 20090 Trezzano sul Naviglio (MI)
E-mail	ungarelli@goppion.com
Tel.	02.4844971
Fax	02.4453985
Web Site	http://www.goppion.com/
Prodotti/servizi	impianti d'esposizione per musei e biblioteche.
Descrizione prodotti/servizi	Il sistema comprende vetrine verticali, singole e composte, del tipo ad isola e a parete, e fra questi del tipo pensile o incassato; vetrine orizzontali a tavolo o a leggio (con cristallo superiore inclinato); vetrine speciali del tipo "Glass hood", fra cui alcune a tavolo, ad isola a sollevamento verticale o apertura diagonale; pensili a parete.

17	
Denominazione Società	GrayWolf Sensing Solutions, LTD
Indirizzo	Unit 8, Tuamgraney Industrial Estate-Tuamgraney, Co Clare GrayWolf Sensing Solutions, LLC, 12 Cambridge Drive, Trumbull CT, 06611 USA
E-mail	EuroSales@WolfSense.com
Tel.	+203.416.0005
Fax	+203.416.0002
Web Site	http://www.wolfsense.com
Prodotti/servizi e servizi	Sensori
Descrizione prodotti/servizi	Contatori di particelle, monitoraggio IAQ, umidità relativa, contaminanti gassosi

18	
Denominazione Società	Invensys Controls Italy
Indirizzo	Via del Seprio 42, 22074 Lomazzo (CO)
E-mail	eliwell@invensys.com
Tel.	02 967 681
Fax	02 967 68250
Web Site	www.eliwell.it
Prodotti/servizi	Datalogger, sensori
Descrizione prodotti/servizi	Sistemi di acquisizione dati con monitoraggio remoto

19	
Denominazione Società	ISOIL INDUSTRIA S.p.A.
Indirizzo	Via F.lli Gracchi, 27, 20092, Cinisello Balsamo (MI)
E-mail	vendite@isoil.it sales@isoil.it
Tel.	02.66.027.224
Fax	02.61.23.202
Web Site	http://www.isoil.com
Prodotti/servizi	Memorizzatori di dati
Descrizione prodotti/servizi	

20	
Denominazione Società	LabService Analytica
Indirizzo	Via Emilia 51/C, 40011 Anzola Emilia (BO)
E-mail	info@labservice.it
Tel.	051.732351
Fax	051.732759
Web Site	http://www.labservice.it/
Prodotti/servizi	Analizzatori di gas, consulenza ed assistenza tecnica, calibrazioni strumenti, troubleshooting
Descrizione prodotti/servizi	

21	
Denominazione Società	Lambda Scientifica Srl
Indirizzo	Via Retrone 39, 36077, Altavilla Vicentina (VI)
E-mail	info@lambdascientifica.com
Tel.	0444.349.165
Fax	0444.349.954
Web Site	http://www.lambdascientifica.com
Prodotti/servizi	Datalogger per il monitoraggio microclimatico:
Descrizione prodotti/servizi	Sistema di acquisizione dati via radio Sistema di acquisizione dati digitale

22	
Denominazione Società	MicroDAQ.com
Indirizzo	MicroDAQ.com, Ltd. PO Box 249, 763 Route 103 East Warner, NH 03278
E-mail	-
Tel.	+1.877.275.9606
Fax	+1.603.746.5384
Web Site	http://www.microdaq.com
Prodotti/servizi e servizi	Sistemi di acquisizione dati, data logger
Descrizione prodotti/servizi	

23	
Denominazione Società	Remote Measurement Systems
Indirizzo	2633 Eastlake Ave E, Suite 20, Seattle WA 98102
E-mail	rmstechinfo@measure.com
Tel.	+206.328.2255
Fax	+206.328.1787
Web Site	http://www.measure.com/companyinfo.html
Prodotti/servizi e servizi	Strumentazione per il monitoraggio ambientale
Descrizione prodotti/servizi	

24	
Denominazione Società	SI.MA.CO. di Resti Raffaello
Indirizzo	via Caposelvi 57, 52025 Montevarchi (AR)
E-mail	simaco-it@libero.it service@simaco.net
Tel.	055.9707565
Fax	055.609069
Web Site	http://www.simaco.net
Prodotti/servizi e servizi	Data logger, analizzatori di CO ₂ , sistemi di monitoraggio e controllo ambientale
Descrizione prodotti/servizi	

25	
Denominazione Società	SIDAT S.p.A. Agente esclusivo per l'Italia della Satchwell e prodotti ACR System Inc.
Indirizzo	Via G. Di Vittorio 427, 20099, Sesto S. Giovanni (MI)
E-mail	sidat@sidat.it
Tel.	02.2627001
Fax	02.26227019
Web Site	http://www.sidat.it/
Prodotti/servizi	sonde di temperatura strumentazioni per il monitoraggio nel settore industriale ed edile controllo dei sistemi di climatizzazione.
Descrizione prodotti/servizi	

26	
Denominazione Società	Sirio s.r.l.
Indirizzo	Viale Corsica 71, 50127 Firenze
E-mail	sirio@leonet.it
Tel.	(055) 366.555
Fax	(055) 365.750
Web Site	http://www.leonet.it/firms/sirio/p51_1it.html
Prodotti/servizi	Datalogger
Descrizione prodotti/servizi	

27	
Denominazione Società	Sud-Chemie Performance Packaging
Indirizzo	6 rue Louise Michel, BP 207, 94 603 Choisy le Roi
E-mail	info@s-cpp.com
Tel.	+33.1. 41.76.20.00
Fax	+33.1.41.76.20.57
Web Site	http://www.s-cpp.com/
Prodotti/servizi	Silica gel, Assorbitori gas e odori
Descrizione prodotti/servizi	

28	
Denominazione Società	SYREMONT
Indirizzo	Viale Lombardia, 20 Bollate (Milano)
E-mail	info@syremont.it
Tel.	02.38352188
Fax	02.38352198
Web Site	http://www.syremont.com/
Prodotti/servizi	Ricerca di base, Studi preliminari, Diagnostica, Progettazione e pianificazione, Restauro e manutenzione, Conservazione per esposizione e deposito, formazione, assistenza tecnica.
Descrizione prodotti/servizi	La capacità di intervento comprende l'intero ciclo tecnologico, dalla diagnostica sui materiali alla determinazione del microclima, dalla progettazione alla messa a punto di nuove metodologie d'intervento, fino ai trattamenti con prodotti/servizi protettivi innovativi.

29	
Denominazione Società	Thermo Electron Industrial Hygiene - Thermo Electron Corporation
Indirizzo	Thermo Electron Industrial Hygiene - Thermo Electron Corporation, 27 Forge Parkway Franklin, MA 02038
E-mail	sales@thermogastech.com
Tel.	+1.866.282.0430
Fax	+1.508.520.1460
Web Site	sales@thermogastech.com
Prodotti/servizi e servizi	Rilevatori, Analizzatori e monitoraggio gas e particolato Dataloggers
Descrizione prodotti/servizi	

30	
Denominazione Società	TSI Incorporated
Indirizzo	TSI Incorporated, 500 Cardigan Road Shoreview, MN 55126-3996, U.S.A.
E-mail	tsiinfo@tsi.com
Tel.	+1.651.483.0900
Fax	+1.651.490.2748
Web Site	http://www.tsi.com
Prodotti/servizi e servizi	Misura di IAQ
Descrizione prodotti/servizi	

Denominazione Società	Vetro service srl
Indirizzo	Viale F.lli Casiraghi, 409/413, 20099 Sesto S. Giovanni (MI)
E-mail	http://www.vetro.it/
Tel.	039.471622
Fax	039.2752052
Web Site	http://www.vetro.it/
Prodotti/servizi	vetri sottili, vetri speciali, vetri lavorati e trasformati destinati sia ai settori delle cornici, della fotografia, e dell'arte in genere sia ai settori tecnico-industriale e dell'architettura-arredamento
Descrizione prodotti/servizi	Questi vetri permettono di ridurre la riflessione della luce incidente all'interfaccia aria-vetro, di aumentare la permeabilità alla luce, di schermare le radiazioni dei raggi ultravioletti. L'effetto pratico di tali proprietà è quello di rendere invisibile il vetro all'osservatore, mantenere inalterate la qualità dell'immagine posta oltre il vetro stesso e preservarla dal deterioramento