

Sensori di impatto per l'ambiente museale

Costanza Cucci⁽¹⁾

⁽¹⁾ IFAC-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Italy

1 - Introduzione

Il problema della corretta conservazione delle collezioni d'arte e della gestione dell'ambiente museale è alquanto complesso, poiché coinvolge istanze diverse e talvolta antagoniste. Schematizzando, da un lato è necessario garantire la massima fruibilità delle opere, favorendone l'accessibilità ad un pubblico sempre più ampio e allestendo gli ambienti in modo da ottimizzare la visibilità dei manufatti ed il benessere dei visitatori; d'altro canto è indispensabile proteggere gli oggetti esposti dal degrado indotto dai fattori ambientali (luce, fluttuazioni in temperatura ed umidità, inquinanti atmosferici veicolati anche dal pubblico, etc.), e creare condizioni ambientali idonee alla conservazione dei manufatti [1]. La soluzione di compromesso è in genere tutt'altro che ovvia, poiché gli oggetti d'arte sono complessi e compositi, e le indicazioni per una loro corretta conservazione variano da caso a caso, secondo la tipologia dei materiali che li costituiscono. In molti casi le condizioni ambientali ideali per gli oggetti sono di fatto incompatibili con quelle più adeguate per il pubblico, sia in termini di illuminazione che di microclima. Inoltre, è ormai assodato che l'alta frequenza di visitatori è associata ad un ulteriore incremento degli inquinanti atmosferici, (già presenti outdoor), senz'altro dannosi per i manufatti esposti.

Gli stessi ambienti espositivi sono poi estremamente vari, possono essere a loro volta strutture da tutelare (ad esempio edifici storici, chiese etc.), imponendo così ulteriori vincoli alla progettazione degli spazi espositivi.

In questo scenario complesso si inquadra il problema del monitoraggio e controllo della qualità dell'ambiente museale, che ha caratteristiche assolutamente peculiari rispetto al generico monitoraggio in ambiente confinato frequentato dal pubblico (es. uffici, etc.).

Per quanto riguarda i limiti di riferimento per i diversi parametri, per l'ambiente museale non esiste un vero e proprio protocollo univocamente accettato a livello internazionale. In generale, ci si attiene a linee guida e raccomandazioni che stabiliscono criteri di base e danno indicazioni sui livelli raccomandati per alcuni dei parametri principali (T, RH%, luce, UV). Gli studi di G. Thomson [2] rimangono un riferimento indiscusso in questo campo, anche se altri importanti e più recenti contributi sono stati aggiunti negli ultimi anni [3,4,5,6]. A livello internazionale, molte istituzioni museali di rilievo hanno stabilito protocolli interni che, pur rappresentando un riferimento importante per tutta la comunità della conservazione, non necessariamente sono accettati e attuati in tutti i contesti. In Italia, il riferimento normativo contenente indicazioni sulla gestione ambientale è il documento tecnico "*Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo nei musei*"[7], che comunque accoglie i criteri adottati a livello internazionale dalle più importanti istituzioni nel campo della conservazione (ICOM, American Association of Museums, etc.).

L'approccio ormai riconosciuto come più adeguato per tenere conto di tutti gli aspetti del problema è comunque quello della cosiddetta '*conservazione preventiva*' [8,9]. Con questa formula si intende un insieme di misure e strategie, adattate caso per caso, mirate a ridurre al minimo l'impatto dei fattori ambientali sui manufatti esposti, e rallentarne quindi il degrado. Tra queste misure preventive rientrano sia quelle più "classiche", basate sul controllo del microclima ed il mantenimento di condizioni ambientali medie adeguate, sia altre strategie supplementari, e più innovative, mirate ad individuare le *situazioni di potenziale rischio*, così da prevenire il danno *prima* che questo sia constatabile sull'oggetto. È in questo contesto che si inquadra la linea di ricerca, avviata negli anni Ottanta, e tuttora in crescita, dedicata allo sviluppo di sensori e strumenti innovativi per il controllo dell'ambiente museale e applicazioni sui beni culturali [10]. Così, accanto a strumentazioni sempre più compatte, esteticamente non invasive e di facile utilizzo (es. datalogger) per la misurazione simultanea di UV, Vis, T, RH%, sono ad oggi disponibili vari tipi di sensori, dosimetri e strumenti specifici per la valutazione dell'impatto cooperativo di più fattori ambientali sui manufatti. Infatti, è ormai assodato che il deterioramento di molti manufatti artistici deve essere ascritto anche alla presenza di effetti cooperativi tra i vari fattori ambientali, che agiscono in sinergia iniziando o accelerando le reazioni chimiche responsabili del deterioramento (es. reazioni foto danneggiate accelerate da incremento di temperatura e/o umidità, etc.). A questo proposito è essenziale ricordare che il monitoraggio dei singoli parametri ambientali fornisce solo una mappatura della situazione esistente, senza dare indicazioni sull'effettivo impatto di quel dato ambiente su quella data

collezione. Per questo motivo la ricerca degli ultimi anni in questo campo ha conosciuto un forte sviluppo due versanti:

- a) proposta di molti prototipi di strumenti non convenzionali per una valutazione di impatto ambientale sulle opere,
- b) sviluppo di metodologie di analisi (es. analisi multivariata, reti neurali) dati mirate specificatamente ad estrarre informazioni salienti dai dati ambientali ridondanti e disaggregati forniti da vari strumenti. [11]

In una prospettiva di progettazione di musei di nuova concezione, è di fondamentale importanza prevedere sistemi integrati per una valutazione dell'impatto dell'intero ambiente sui manufatti. L'utilizzo simultaneo di indicatori che segnalino il superamento di soglie prestabilite è il passo preliminare e necessario per automatizzare il riconoscimento di situazioni di allerta e rendere sistematico l'intervento di adeguamento correzione di condizioni inadeguate.

Si presenta una schematica rassegna, *non esaustiva* ma volta ad illustrare alcune delle tipologie più rappresentative di strumenti e sensori per ambiente museale, selezionate per le caratteristiche di basso impatto estetico, costi contenuti e facile utilizzo.

I casi presentati in questa rassegna possono essere disponibili a livello commerciale, oppure sono solo prototipi, ma sempre testati in campo, e con potenzialità di utilizzo in sistemi di controllo integrati.

2 - Tipologie di sensori

2.1 - Controllo della luce e/o effetti sinergici di origine foto-indotta

1. **LightCheck®** - Dosimetro di luce tipo Early Warning System, per la valutazione precoce dell'impatto dell'ambiente luminoso su manufatti fotosensibili. Reagisce alla dose di luce ricevuta con una variazione di colore, passando dal blu iniziale al bianco attraverso gradazioni di viola e rosa. Grazie ad un confronto visuale con una scala colorimetrica di riferimento è possibile risalire alla dose di luce ricevuta dall'oggetto esposto vicino al dosimetro. Sviluppato nella ambito di un progetto di ricerca europeo, (EC -LiDo Project), ora disponibile in commercio [12,13,14]
2. **MAPA** - Strumento portatile a fibra ottica per il controllo in tempo reale e/o di lungo periodo dell'impatto dell'ambiente luminoso su materiali test standardizzati (es. BWS). Grazie all'utilizzo di uno spettrofotometro miniaturizzato equipaggiato con fibre ottiche, e di un opportuno supporto per i campioni a movimentazione automatica, questa strumentazione permette di seguire in tempo reale la variazione colorimetrica indotta dall'ambiente su un campione di materiale selezionato. Previa opportuna calibrazione del materiale test, si può risalire alla dose di luce ricevuta. Il sistema è concepito per evidenziare effetti sinergici di luce e microambiente (inquinanti, forti fluttuazioni T, RH% etc.) che possono provocare una decolorazione maggiore di quella aspettata in base alla sola azione della luce presente in quell'ambiente. Il software può essere adattato per segnalare situazioni di allerta in caso di superamento di soglie stabilite. Prototipo testato in campagne di misura in diversi siti museali (es. Galleria degli Uffizi, Firenze) - Al momento disponibili due unità sviluppate presso IFAC-CNR e modificabili [15,16]
3. **Sensore a fibra ottica per la valutazione del rapporto UV/Vis.** Il sensore è costituito da materiali fotocromici (fulgidi), che cambiano colore in base alla frazione di UV o Vis ricevuta. Questi sono immobilizzati su una matrice polimerica, e connessi a una fibra ottica per la lettura delle variazioni dello spettro di assorbimento. La fibra è accoppiata ad una unità optoelettronica compatta per l'interrogazione del sensore, basata su componenti commerciali (sorgenti LED e un rivelatore a fotodiode). Interfaccia software di facile utilizzo. Prototipo sviluppato presso IFAC-CNR, testato in situ, disponibile a richiesta [17].
4. **MOCK Paintings** - Pannelli che includono una serie di stesure pittoriche di pigmenti e leganti (tempera a olio), realizzate secondo le ricette originali utilizzate dagli artisti. In questo caso si studiano le variazioni indotte dall'esposizione all'ambiente sui singoli pigmenti. Tempi di risposta medio-lunghi, adatti ad un monitoraggio di lungo periodo. Le tecniche di analisi sono sia analitiche (spettrometria di massa) che spettroscopiche (riflettenza Vis-NIR, colorimetria) e si basano sul confronto dei dati acquisiti su campioni esposti in situ con campioni sottoposti ad invecchiamenti artificiali. L'analisi multivariata dei dati è uno strumento essenziale per estrarre

informazioni circa i parametri ambientali più impattanti [18,19] . Sviluppato solo a livello di prototipo.

2.2 - Controllo degli inquinanti atmosferici ed effetti ad essi associati (corrosione, fotoreazioni etc.)

1. **EWO** – Vari sensori di tipo Early Warning System, che rispondono alla presenza degli inquinanti SO₂, O₃ and NO₂ sia in modo selettivo, oppure ai loro effetti cooperativi con T e RH%. Costituiti da rivestimenti polimerici che cambiano le proprietà ottiche in base all'esposizione, vengono letti con misure di assorbimento. Sono equipaggiati con una strumentazione compatta portatile di lettura, di facile utilizzo. Danno indicazioni semi-quantitative utili per stime preliminari sulla qualità dell'aria, soprattutto in ambiente confinato. Sviluppati a livello di prototipo nell'ambito di un progetto di ricerca europeo, hanno riscosso molto interesse nella comunità della conservazione dei beni culturali, e sono stati testati in studi pilota che coinvolgevano gli utenti finali. [20,21].
2. **LibraNose** - naso elettronico per la rivelazione di gruppi di inquinanti atmosferici, sviluppato per applicazioni in vari ambiti, è stato proposto anche per utilizzo in ambiente museale, ad esempio per l'identificazione di presenza di VOC. Basato su di matrici di sensori a base di metallo porfirine, accoppiate a micro-balance al quarzo come trasduttori. Sviluppato a livello di prototipo finale, trasportabile e corredato da software di facile utilizzo, è disponibile a richiesta e può essere adattato alle applicazioni di interesse. [22, 23]
3. **Glass-sensors** – sviluppati per il monitoraggio delle vetrate. Sono sensori passivi che identificano la presenza di un ambiente corrosivo (es. presenza di SO₂, NO_x, ec. in concomitanza con determinate condizioni termo igrometriche, piogge acide, etc) per materiali come vetrate antiche, o metalli, etc. : Si basano su una reazione rapida (tempi di esposizione 2-4 settimana) che viene misurata dopo l'esposizione con metodi spettroscopici (ATR, FT-IT, colorimetria). Sviluppati presso il Fraunhofer Inst. Fur Silicatforschung, disponibili su richiesta.[24]
4. **CORRLOG** – Misura la corrosività di un ambiente per superfici metalliche. Basato su una misura di resistenza elettrica è stato progettato per applicazioni sia indoor che outdoor. La lettura avviene tramite un dispositivo fornito con il sensore, che permette di scaricare i dati relativi al periodo di esposizione. Progettato in formato compatto e di semplice utilizzo. Prototipo sviluppato nell'ambito di un progetto di ricerca Europeo, ma già disponibile a richiesta [25].
5. **PQC** – Sensori a base di stesure di leganti/pigmenti di interesse su cristalli piezoelettrici per la misura dell'impatto di inquinanti sulle proprietà chimico-fisiche del film pittorico. Prototipi sviluppati in ambito di progetti di ricerca [26] .

2.3 - Controllo delle fluttuazioni termo-igrometriche ed effetti ad esse associati (sistemi non convenzionali)

- 1 **Indicatori di temperatura a tecnologia sol-gel** – Sensori reversibili a risposta rapida (circa 15 min.). Basati su tecnologia sol-gel. reagiscono con una variazione di colore alle fluttuazioni in temperatura nell'intervallo 10-35°C. La reversibilità della reazione permette un loro utilizzo iterato (circa. 30 cicli). Sono particolarmente indicati per monitorare le forti fluttuazioni di temperatura. Prototipi non commercializzati [27].
- 2 **Indicatori di effetto combinato umidità e ambiente acido a tecnologia sol-gel** – Sensori analoghi ai precedenti, reversibili e a risposta rapida, ma progettati per il monitoraggio dell'acidità ambientale. Reagiscono alla presenza di SO₂ in atmosfera umida con una variazione di colore. Indicati per il controllo di materiali tipo ceramica e vetrate soggetti a corrosione. Prototipi non commercializzati. [28]
- 3 **Sonda a fibra ottica per il controllo dell'invecchiamento delle vernici protettive.** Sviluppato per il problema specifico dell'ageing termico delle vernici protettive su superfici dipinte. Progettato per il controllo di incrementi termici repentini e consistenti (es. da illuminazione per riprese fotografiche) Consiste di una fibra ottica opportunamente trattata, che può essere inclusa nello strato di vernice da monitorare. Tramite un'unità optoelettronica compatta e maneggevole si

registrano le variazioni dello spettro di assorbimento del materiale di rivestimento della fibra (vernice), identificative dell'eventuale presenza di condizioni termiche deleterie per il dipinto. Prototipo sviluppato e disponibile presso IFAC-CNR, riadattabile secondo esigenze specifiche [29]

- 4 **SUSI** Sensore a microonde basato sulla misura della costante dielettrica, per la diagnostica su affreschi e dipinti murali. Eseguisce misure puntuali, monitorando valori di umidità superficiale e sub superficiale e l'eventuale presenza di formazioni di sali. Sviluppato presso IFAC-CNR [30].

Bibliografia

1. La Gennusa M., Lascari G., Rizzo G., Scaccianoce G. *Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: In search of a practical compromise* Journal of Cultural Heritage, Vol. 9, 2, (2008), pp. 125-134.
2. Thomson, G., *The museum environment*, Second Edition, Butterworth-Heinemann - Ed. Elsevier, Oxford, 1994
3. Tétéault, J., *Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management*", Canadian Conservation Institute, Ottawa, 2003
4. Ashley-Smith, J. *Risk assessment for object conservation* Butterworth-Heinemann Oxford, 1999
5. Harrison, R. (Ed.) *Manual of heritage management*, Butterworth-Heinemann – Oxford, 1994
6. Camuffo, D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam, 1998.
7. Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 - *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo nei musei*- G.U. 19/10/2001, n.244 suppl. ord. Serie gen.
8. Cassar, M., *Environmental Management: Guidelines for Museums and Galleries*, Ed. Routledge, London, 1995
9. Dahlin, E., *Preventive conservation strategies for organic objects in museums, historic buildings and archives*, in: General report of the 5th EC Conference of Cultural heritage Research, Cracow (Poland) 12-15 May 2002. http://heritage.xtd.pl/pdf/full_dahlin.pdf
10. M. Bacci, C. Cucci, A. A. Mencaglia and A. G. Mignani *Innovative Sensors for Environmental Monitoring in Museums*, Sensors, 8, (2008), p.1984-2205
11. Vuerich, E., Malaspina, F., Barazutti, M., Georgiadis, T. and Nardino, M. *Indoor measurements of microclimate variables and ozone in the church of San Vincenzo (Monastery of Bassano Romano — Italy): A pilot study* Microchemical Journal, Vol. 88, Issue 2, (2008), p. 218-223
12. <http://www.lightcheck.co.uk/>
13. EC funded project Contract n°: EVK4-CT-2000-00016, <http://www.lido.fhg.de>.
14. Dupont, A.-L., Cucci, C., Loisel, C., Bacci M. and Lavédrine, B. *Development of LightCheck® Ultra a novel dosimeter for monitoring lighting conditions of highly photosensitive artefacts in museums*- Studies in Conservation, 53, (2008), p. 49-72
15. Mignani, A. G., Bacci, M., Mencaglia A. A. and Senesi, F. *Equivalent Light Dosimetry in Museums with Blue Wool Standards and Optical Fibers*", Sensors Journal, IEEE, 3 (2003) 108
16. Bacci, M.; Cucci, C.; Mencaglia, A. A.; Mignani A. G. and Porcinai, S., *Calibration and use of photosensitive materials for light monitoring in museum: the Blue Wool Standard 1 as a case study*, Studies in Conservation, (2004), Vol.49, n. 2, pp. 85-98.
17. Mignani, A.G.; Falciai, R.; Trono, C. and Tiribilli, B., *Optical fibers for the cultural heritage II: The Monitoring of lighting in Museums Environments*, in: *Proc. of the 13th International Conference on Optical Fiber Sensors – OFS-13 - April 1999 Kyongju, Korea* –Proc. of SPIE Vol. 3746, pp.183-186
18. Odlyha, M.; Theodorakopoulos, C.; Thicket, D.; Ryhl-Svendsen, M.; Slater J.M. and Campana, R., *Dosimeters for indoor microclimate monitoring for cultural heritage*, in: *Museum Microclimates Proc. Conference Copenhagen 19-23 Nov. 2007*, Padfield, T and Borchersen, K. Ed., 2007, Publ. by National Museum of Denmark, pp. 73-79.
19. Bacci, M.; Piccolo, M.; Porcinai S. and Radicati, B, *Tempera-painted dosimeters for environmental indoor monitoring: a spectroscopic and chemometric approach*, Environ. Sci. Technol., 34 (13), (2000), pp.2859–2865.
20. EC funded Project Contract. n. EVK-CT-2002-00093 <http://www.nilu.no/master>
21. Dahlin, E.; Grontoft, T.; Rentmeister, S.; Calnan, C.; Czop, J.; Hallett, K.; Howell, D.; Pitzen, C. and Sommer Larsen, A., *Development of an early warning sensor for assessing deterioration of organic materials indoor in museums, historic buildings and archives*, in: *ICOM Committee for Conservation, 14th Triennial Meeting, The Hague, 12-16 September 2005: Preprints*, James and James, London, Vol II, (2005) pp. 617-624.

-
22. <http://www.technobiochip.com/download/IT/libranose2.1%20IT.pdf>
 23. Di Natale, C., Paolesse R. and D'Amico, A. , *The artificial olfaction approach to the measure of the quality of indoor air*, in: Proc. of the workshop: Microelectronics and cultural heritage- Progetto finalizzato MADESS II CNR- Ed. Bacci, Iarossi (2001)- p. 65-73
 24. http://www.isc.fraunhofer.de/german/improfil/presse/publikationen/jb_2006/media/40-43_2006.pdf
 25. <http://www.corrlog.com/>
 26. Odlyha, M.; Theodorakopoulos, C.; Thicket, D.; Ryhl-Svendsen, M.; Slater J.M. and Campana, R., Dosimeters for indoor microclimate monitoring for cultural heritage, in: *Museum Microclimates Proc. Conference Copenhagen 19-23 Nov. 2007*, Padfield, T and Borchersen, K. Ed., 2007, Publ. by National Museum of Denmark, pp. 73-79.
 27. Carmona, N. Herrero-Hernandez E., Llopis, J. and Villegas, M. A. *Novel sol-gel reversible thermochromic materials for environmental sensors Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol. 47,1, (2008), pp 31-37.
 28. Carmona, N., Garcia-Heras, M., Herrero, , Kromka, K., Faber, J., Villegas, M.A. *Improvement of glassy sol-gel sensors for preventive conservation of historical materials against acidity*, Bol.Soc. Esp. Ceram. V., 46, 4, (2007), pp. 213-317
 29. Mignani, A. G.; Bacci, M.; Trono, C.; Mencaglia, A., *Optical Fiber Sensors for the Cultural Heritage in: Optical Sensors and Microsystems, Part II*, Ed. Springer SU, (2002), p. 253-258.
 30. Olmi, R., Bini, M., Ignesti, A, Priori, S., Riminesi C. and Felici, A *Diagnostics and monitoring of frescoes using evanescent-field dielectrometry* Meas. Sci. Technol. 17 (2006),p. 2281–2288.