



Published: November 1, 2022

Copyright: © 2022 Manfriani C., Gualdani G., Fioravanti M., Roselli M.G.

This is an open access, peer-reviewed article edited by Archivio per l'Antropologia e la Etnologia (<http://www.antropologiaetnologia.it>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper.

Conservazione preventiva al Museo di Antropologia e Etnologia dell'Università degli Studi di Firenze: il Progetto PREMUDE per una revisione degli standard e per l'applicazione di tecnologie innovative

CHIARA MANFRIANI^{1*}, GIOVANNI GUALDANI^{1,2},
MARCO FIORAVANTI¹, MARIA GLORIA ROSELLI³

¹Università degli Studi di Firenze - DAGRI

²Restauratore privato

³Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze - Sede di Antropologia e Etnologia

*E-mail: chiara.manfriani@unifi.it

Abstract. Preventive Conservation (PC) is the sum of the activities needed to protect cultural heritage from damage. Among PC activities, climate monitoring and control are especially necessary for anthropologic and ethnographic collections, which are highly hygroscopic. Knowledge of collection objects and their conservation needs, together with their housing characteristics, is at the base of efficient PC strategies, including the evaluation of potential changes in the environmental parameters. An approach based on international standards is required to make museum indoor climate control activities objectives needs-based, and more economically, environmentally, and energetically sustainable. This approach was implemented for the PREMUDE research project, with the collaboration of DAGRI Department of University of Florence, Sistema Museale di Ateneo (SMA) and Opificio delle Pietre Dure (OPD). In this context, national and international norms, standards and museum guidelines were examined and used to apply innovative technologies of the Internet of Things (IoT) for monitoring and climate control of case studies from the Museum of Anthropology and Ethnology of Florence.

Keywords: museum indoor climate, legislation, Internet of Things.

INTRODUZIONE

Le collezioni, in ambito museale, costituiscono l'oggetto principale della missione di trasmissione di valori per scopo educativo, di studio e di diletto, compiuta tramite azioni concrete di ricerca, cura e conservazione. Gli oggetti, i reperti, i manufatti sono, infatti, portatori di messaggi culturali, artistici, religiosi, scientifici, storici e tecnologici, ed è evidente che, per permetterne la fruizione, la corretta conservazione sia attività imprescindibile.

Tra le attività di conservazione in ambito museale, particolarmente importanti sono quelle relative alla conservazione preventiva (CP), delle quali l'*International Council of Museums (ICOM)* nel 2008 ha proposto una definizione che le individua come l'insieme di tutte quelle misure e azioni mirate a prevenire e minimizzare futuri deterioramenti e perdite di materiale del bene. La CP comprende tutte le azioni indirette che non modificano l'aspetto dell'opera (registrazione, immagazzinamento, manipolazione, trasporto, sicurezza, controllo del clima di conservazione e di esposizione, redazione di piani di emergenza, ecc.) e può essere applicata sia su un singolo manufatto che sull'insieme dei beni che formano un'intera collezione (ICOM, 2008).

In particolare, nell'ambito delle attività di CP di controllo del clima di conservazione, è noto che i vari materiali o le singole parti costituenti i manufatti reagiscono in modo diverso ai parametri ambientali – temperatura, umidità relativa, illuminazione, agenti inquinanti –, alle loro variazioni e ai processi di natura cumulativa sul lungo termine, dove diventano rilevanti sia il numero che l'intensità dei singoli eventi.

Ogni perturbazione ambientale può contribuire ad accelerare il processo di deterioramento dei materiali attraverso meccanismi di tipo fisico (variazioni di dimensioni e forma degli oggetti), chimico (corrosione, ossidazione, scolorimento, carbonatazione, ecc.) e biologico (proliferazione di microrganismi, deterioramento biologico, ecc.) (Thomson, 1978).

Gli effetti dei parametri ambientali sul degrado dipendono anche dalla storia pregressa dell'opera e dalla natura dei materiali costitutivi (natura organica o inorganica, materiali igroscopici o non igroscopici, ecc.), oltre che dalla durata degli eventi e dalla magnitudo del fattore di danno (Bernardi, 2004).

Inoltre, nell'ambito della museografia contemporanea, alla luce dell'attuale fenomeno del cambiamento climatico, appare imprescindibile come lo stesso spazio espositivo vada considerato come un sistema fisico che interagisce ed evolve nel tempo.

DIBATTITO INTERNAZIONALE, LINEE GUIDA E STANDARDS

L'impatto delle variabili dell'ambiente conservativo sul patrimonio culturale è stato al centro del dibattito tecnico-scientifico degli ultimi decenni. Ne sono scaturiti linee guida e *standards* tecnici, redatti da organismi normativi nazionali e internazionali. Fra queste si ricordano le linee guida introdotte da ICOM, dal *Centre for Study of Preservation and Restoration of Cultural Property* (ICCROM), dal *Canadian Conservation Institute* (CCI) e dal *Getty Conservation Institute* (GCI) (Lucchi, 2018; Caple, 2012). Questi documenti sono ispirati alle proposte di Thomson (1978) che, per collezioni londinesi di dipinti, fissava il mantenimento dei parametri ambientali di temperatura (T, °C) e umidità relativa (UR, %) – i principali parametri ambientali con impatto sui materiali igroscopici – di 20°C e 50% rispettivamente. A loro volta, i suggerimenti operativi di tali linee guida sono diventati riferimenti essenziali per il controllo dei parametri negli ambienti conservativi da parte di molti musei e istituzioni. A questi documenti si aggiungono i contributi di altri esperti quali Camuffo (1998; 2019), Grattan e Michalski (2000) i cui lavori costituirono i riferimenti teorici per la formulazione di linee guida realizzate da musei.

Anche gli organismi di standardizzazione hanno recepito l'esigenza di definire nuovi strumenti per affrontare l'argomento, attivando Commissioni Tecniche *ad hoc* fra le quali si ricordano il TC 46 della ISO (*International Standards Organization*), che con le sottocommissioni SC8 (*Quality - Statistics and performance evaluation*) e SC10 (*Requirements for document storage and conditions for preservation*) si è principalmente occupato delle condizioni di conservazione di archivi e biblioteche, e la commissione tecnica TC 346 (*Conservation of Cultural Heritage*) del CEN (*Comité Européen de Normalisation*), istituita nel 2003, la quale è specificatamente dedicata alla produzione di standard relativi alla conservazione del Patrimonio Culturale.

Di particolare interesse risultano anche i documenti del *British Standards Institution* (BSI), come il PAS 198:2012, in cui le specifiche ambientali sono individuate con discrezionalità a partire dalla conoscenza delle vulnerabilità dei singoli manufatti e dalle specifiche necessità espositive delle collezioni.

La medesima istituzione ha inoltre redatto il documento PD 5454:2012 in sostituzione del British Standard (BS) 5454:2000, che fino ad allora era stato utilizzato come standard *de facto* per gli ambienti museali, nonostante si riferisse prevalentemente alle condizioni climatiche per le collezioni librerie e archivistiche; i parametri di 20°C e il 55% possono infatti risultare condizioni accettabili per molte collezioni in un clima temperato, ma risultano inadeguate e dannose ad alcune tipologie di materiali e manufatti (come quelli, ad esempio, di provenienza archeologica). Si tratta inoltre di parametri ambientali altamente improbabili da mantenere costantemente in

climi tropicali o freddi-continentali senza l'impiego di risorse energetiche ed economiche rilevanti e che, spesso, risultano comunque poco utili sotto il profilo della conservazione (Townsend e Knight, 2016). La nuova proposta puntualizza l'ambito di riferimento al quale si rivolge e introduce un tema fondamentale per la conservazione preventiva in generale: la definizione dei corretti parametri ambientali sulla base delle necessità dei materiali costitutivi di un'opera.

Negli ultimi anni si è, inoltre, evidenziata la crescente necessità di gestire il clima museale tenendo conto della sostenibilità, intesa come riduzione dell'impatto ambientale, e della migliore praticabilità nella gestione e fruizione dei musei, come dimostrano i dibattiti sul tema e la copiosa letteratura di riferimento (Lucchi, 2018).

Un esempio di particolare rilievo è determinato dal dibattito introdotto nel 2009 dalle istituzioni culturali inglesi, guidate dal gruppo di direttori della *National Museum Directors' Conference* (NMDC), che ha favorito lo sviluppo del tema della sostenibilità nei musei e ha aperto la strada al successivo lavoro realizzato dall'*International Group of Organizers of Large-scale Exhibitions*, conosciuto come *Bizot Group*. Il *Bizot* (o *Green*) *Protocol* ha messo in dubbio la necessità di mantenere parametri ambientali rigidi e stringenti, promuovendo il principio di sostenibilità nella gestione museale: tra i temi affrontati, la riorganizzazione degli spazi museali, l'utilizzo di fonti d'energia rinnovabili, la proposizione di metodi passivi e a basso consumo energetico per l'impiego di aria condizionata (Michalski, 2016).

Un altro approccio internazionale di particolare interesse, sia dal punto di vista delle necessità conservative delle singole collezioni che della sostenibilità, è quello dell'*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), l'ente di riferimento nel Nord America per lo sviluppo di linee guida per i sistemi di condizionamento e riscaldamento. Le linee guida, riassunte all'interno dell'*ASHRAE Handbook* (poi progressivamente aggiornato fino all'ultima edizione del 2019) (ASHRAE, 2019), vennero sviluppate in collaborazione con il CCI per la prima volta nel 1999, e da allora costituiscono un punto di riferimento anche per le pratiche museali.

Nel Capitolo 24 dell'ultima edizione, dedicato alle collezioni museali e bibliotecarie, viene suggerita l'adozione di un processo decisionale basato su un approccio olistico che riunisca le necessità delle collezioni, dei fruitori e degli operatori, dell'edificio in cui sono conservate e della sostenibilità economica, sociale e ambientale degli eventuali interventi migliorativi sul clima. Una proposta particolarmente interessante poiché non prevede un clima «a taglia unica» e sicuro a priori, ma mette in relazione i parametri ambientali all'interno di un edificio con il profilo di rischio degli oggetti conservati, alla ricerca di soluzioni sostenibili.

IL CONTESTO ITALIANO

A livello italiano, la normativa tecnica in merito alla misurazione dei parametri ambientali nei musei, e alla loro interazione con diverse tipologie di beni culturali, è rappresentata dai documenti dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) dedicati a tale materia: UNI 10829: 1999; UNI EN 15757: 2010; UNI EN 15759-1: 2012; UNI EN 15999: 2014; UNI EN 15759-2: 2018. Oltre a queste norme un impatto significativo sul tema è stato fornito dalla redazione e adozione di alcuni Decreti ministeriali.

Nel D.M. 10 maggio 2001 (Ministero per i beni e le attività culturali, 2001) – Ambito VI Gestione e cura delle collezioni – sono indicati precisi criteri di conservazione preventiva e parametri per il monitoraggio ambientale, che suggeriscono valori di riferimento per assicurare condizioni conservative ottimali.

Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs. 22/01/2004) ha stabilito il concetto di conservazione preventiva come tutt'oggi riconosciuto nei suoi caratteri generali, ovvero quale *«complesso di attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto»*.

Con il D.M. del 21 febbraio 2018 (Ministero per i beni e le attività culturali, 2008) è stato poi creato il nuovo Sistema museale nazionale, con la promozione e l'adozione di criteri minimi uniformi per la qualità degli ambienti museali già introdotti dal D.M. 10 maggio 2001.

L'evoluzione del dibattito circa le modalità di gestione degli ambienti museali negli ultimi decenni ha messo tuttavia in evidenza come il mantenimento di parametri termo-igrometrici troppo stretti o uniformi si scontri con l'impossibilità di inquadrare il comportamento di un oggetto di interesse culturale in classi predeterminate. È infatti difficile, se non impossibile, «standardizzare» la varietà dei fattori che incidono e regolano il complesso rapporto tra il bene e l'ambiente conservativo.

La conservazione di un'opera, oltre che alla caratterizzazione e al comportamento dei materiali costitutivi, è legata anche alle variazioni climatiche e geografiche dei diversi luoghi della sua permanenza, oltre che influenzata dalle difficoltà gestionali e di coordinamento delle procedure di studio e di misurazione dei dati.

LA NORMA UNI EN 15757: 2010

I concetti introdotti dalla norma europea EN 15757: 2010, ripresa e tradotta dall'UNI, sembrano invece più adeguati a rispondere alla complessità legata alla specificità dei manufatti e alla loro conservazione. Appare infatti opportuno un approccio teorico e metodologico che si pone l'obiettivo della

limitazione del danno fisico prodotto dalle variazioni delle condizioni termogigrometriche (temperatura e umidità relativa) dell'ambiente *indoor* dove il bene culturale viene conservato.

La *ratio* della norma si basa sulla considerazione che ogni opera costituita da materiale igroscopico raggiunge un equilibrio con la condizione microclimatica ambientale in cui si trova, con valori spesso al di fuori dei parametri consigliati dalle tabelle di riferimento della normativa.

Il fenomeno di acclimatamento garantisce spesso una conservazione accettabile. La norma prevede una valutazione dei parametri termogigrometrici di acclimatamento con particolare attenzione alla variabilità stagionale, ai cicli e alle fluttuazioni di temperatura e di umidità relativa, evidenziando la pericolosità degli scostamenti e la necessità di evitare stress microclimatici.

Per definire meglio il concetto è fondamentale chiarire il termine di «clima storico», introdotto dalla norma: esso si riferisce a un periodo di tempo calcolato in 13 mesi (e/o multipli), prossimo al momento dell'osservazione, e si distingue da «clima storicizzato» che fa invece riferimento a un ambito temporale molto più esteso, genericamente rispondente a gran parte del tempo-vita dell'opera, dalla realizzazione del manufatto fino al suo acclimatamento all'interno di un determinato ambiente conservativo.

L'approccio metodologico introdotto dalla norma si basa quindi sull'analisi del clima storico dell'ambiente di conservazione e sulla ricognizione dello stato conservativo degli oggetti più vulnerabili della collezione, maggiormente esposti ai danni legati alle variazioni microclimatiche.

La procedura di analisi è messa in atto da un gruppo di professionisti con competenze interdisciplinari, con la presenza fondamentale di un esperto scientifico e di un conservatore-restauratore. Il ruolo dell'esperto scientifico è di studiare l'andamento dei parametri microclimatici di temperatura e umidità relativa in modo da definire, attraverso le indicazioni della norma e sulla base delle necessità del contesto operativo, quale sia la variabilità igroscopica accettabile per un manufatto e il relativo limite di rischio.

Le misure utili per la valutazione dei parametri ambientali si considerano su base giornaliera, mensile, stagionale e annuale e sono eseguite, come sopra riportato, sull'arco temporale minimo di 13 mesi, attraverso un monitoraggio strumentale con un intervallo di acquisizione dei dati di un'ora (o meno). Considerando finestre temporali di 30 giorni, vengono poi definiti valori di riferimento quali il livello medio (media aritmetica dei valori) e la media mobile centrale (media aritmetica dei valori presi in 30 giorni), utili per la determinazione dei cicli stagionali e delle fluttuazioni a breve termine. Il rilevamento di questi valori permette di definire una variabilità di umidità relativa appropriata alla conservazione, attraverso l'identificazione di una

fascia di sicurezza (*safe band*), costituita dall'intervallo compreso tra il 7,0 e il 93,0 percentile della fascia di variabilità storica dell'ambiente. I valori estremi di queste variazioni vengono quindi rispettivamente esclusi nell'ordine del 7,0 percentile, in modo da permettere un abbattimento dei possibili rischi di danneggiamento permanenti.

La norma, inoltre, affida un ruolo primario al conservatore-restauratore, in quanto responsabile della valutazione dello stato di conservazione di un manufatto. Tale valutazione ha lo scopo di stabilire quale relazione esista tra lo stato conservativo e l'ambiente, identificando le possibili interazioni, siano esse di carattere positivo o negativo, prima di proporre soluzioni per il controllo delle condizioni climatiche. Il restauratore valuta, dunque, la situazione mediante l'impiego di strumenti scientifici e facendo ricorso alla propria esperienza e conoscenza.

La caratterizzazione dello stato conservativo del singolo manufatto rappresenta uno strumento imprescindibile in quanto la presenza di danni potrebbe rivelare un rapporto con un microclima non idoneo, e costituire un punto di partenza per una revisione della qualità dell'ambiente di conservazione.

Secondo la norma, l'analisi e la valutazione del clima storico possono essere di aiuto anche durante alcune attività straordinarie, come in occasione di operazioni di restauro, in cui le opere sono sottoposte a stress microclimatici e a una illuminazione a forte intensità, o durante mostre temporanee, durante le quali i manufatti possono subire stress microclimatici dovuti agli spostamenti e alle differenze ambientali rispetto al proprio clima storico.

Ma come si applica questa chiave di lettura in ambito museale?

Come visto, la CP, non dovrebbe prevedere l'applicazione di un *modus operandi* universale ma necessita della messa in atto di strategie di prevenzione e pianificazione adatte alle necessità delle singole istituzioni e delle singole collezioni, rispondenti anche a un approccio di maggiore sostenibilità organizzativa ed economica (Lucchi, 2018). Ogni museo dovrebbe, infatti, redigere e attuare un piano specifico di conservazione preventiva considerando ogni aspetto relativo a immagazzinamento, movimentazione ed esposizione dei manufatti delle collezioni.

La conoscenza degli oggetti e delle loro necessità conservative, nonché delle condizioni dell'ambiente-contenitore, diventano il fulcro di una strategia di prevenzione efficace dei rischi, dalla quale identificare e definire i corretti interventi migliorativi sulle condizioni ambientali. Questa sfida è però particolarmente complessa per musei di piccole e medie dimensioni, che rappresentano la maggioranza degli istituti culturali italiani (ISTAT, 2019), poiché la scarsità di risorse, umane ed economiche, ne limita fortemente l'applicazione.

La mancanza di personale specializzato nel campo della conservazione di beni culturali, siano essi restauratori o professionalità scientifiche, non permette una divisione di ruoli idonea al compimento dei processi decisionali (Miller, 2018).

Inoltre, la scarsità di risorse finanziarie dei musei spesso non permette di introdurre tecnologie adeguate per eseguire operazioni correttive sulle condizioni climatiche, soprattutto in edifici storici in cui è difficile attuare modifiche strutturali o nei quali vengono installati sistemi di riscaldamento/condizionamento non completamente idonei: non sempre risulta possibile, ad esempio, l'installazione di sistemi di riscaldamento o di condizionamento che funzionino oltre gli orari di apertura al pubblico (Miller, 2018).

Al contrario, sono documentati anche casi studio in cui l'introduzione di queste tecnologie, spesso a discapito dell'integrità dell'edificio e con costi di manutenzione elevati, è risultata infruttuosa a causa di una gestione disorganica che ha finito per generare danni alle collezioni.

Altro problema è stato documentato nei casi di sistemi dai sensori malfunzionanti o con impostazioni di allarme non idonei (Ankersmit, 2017). In questo contesto, l'applicazione di un approccio metodologico basato sulla UNI EN 15757: 2010 risulta particolarmente adeguato in quanto fondato essenzialmente su competenze e conoscenze tecnico-scientifiche.

IL PROGETTO PREMUDE

Il tema della conservazione preventiva e l'applicazione della UNI EN 15757: 2010 in contesti museali di piccole e medie dimensioni sono stati oggetto del progetto «Modelli innovativi per la conservazione PREventiva in ambienti Museali e Depositi temporanei post-emergenza – PREMUDE», cofinanziato dalla Regione Toscana all'interno del piano GiovaniSi (Piano europeo POR-FSE 2014-2020) per l'alta formazione e la ricerca in ambito culturale, che tra il marzo 2020 e il febbraio 2022 ha visto la collaborazione tra il Gruppo Tecnologie del Legno del Dipartimento DAGRI (Università degli Studi di Firenze), il Sistema Museale di Ateneo e l'istituto dell'Opificio delle Pietre Dure di Firenze, e di cui gli autori del presente articolo Chiara Manfrediani e Giovanni Gualdani sono stati titolari di assegno di ricerca sotto la supervisione del Prof. Marco Fioravanti.

Il Progetto PREMUDE ha realizzato uno studio del clima storico e una valutazione dello stato di conservazione di beni culturali costituiti da materiali igroscopici in diversi contesti operativi. Tra questi, il Museo di Antropologia e Etnologia del Sistema Museale di Ateneo dell'Università degli Studi di Firenze che presenta alcune delle problematiche finora descritte. Si tratta, infatti, di un museo che presenta le seguenti criticità:

- la collocazione all'interno di un palazzo storico, il Palazzo Nonfinito;
- la presenza di vetrine antiche con elevato valore storico;
- la composizione di larga parte dei manufatti conservati al suo interno, che è formata da materiali estremamente eterogenei e soggetti a tipologie differenti di degrado: materiali organici di origine animale e vegetale come piume, pelli, fibre vegetali e materiale ligneo, reperti osteologici, preistorici e di epoca attuale, calchi in gesso policromi, strumenti scientifici storici e materiale documentario cartaceo, fotografico con negativi su lastra e pellicola. La maggior parte di questi oggetti, variegati anche per provenienza geografica, è composta da materiali igroscopici, sensibili alle variazioni termo-igrometriche (T e UR).

In questo contesto operativo sono stati scelti alcuni casi-studio di particolare interesse storico-culturale e molto sensibili dal punto di vista conservativo perché costituiti da materiali eterogenei o fortemente igroscopici. Su di essi sono state eseguite una valutazione dello stato conservativo, una ricognizione delle pratiche di CP messe in atto dagli operatori museali e un monitoraggio strumentale dei parametri termo-igrometrici rispettivamente alle sale espositive.

Le caratteristiche degli oggetti presi in esame sono state registrate dal restauratore, che ha redatto specifici *condition report* di natura compilativa, rappresentanti lo stato del bene in rapporto all'ambiente di conservazione. Tale azione si è basata sullo studio delle caratteristiche del reperto (tecniche di realizzazione, materiali costitutivi, storia conservativa, ecc...) e dei suoi rapporti con i parametri ambientali.

L'analisi ha preso in esame l'incidenza dei fattori di degrado ambientale sui beni e ha avuto il sostanziale scopo di evidenziarne le criticità conservative, attribuendo, infine, un indice di rischio per individuare la sensibilità di tale rapporto, utile anche agli operatori museali per gestirne la conservazione.

Di seguito si elencano i reperti scelti come caso studio presso il Museo di Etnologia e Antropologia, riportati in Fig. 1:

- *Copricapo piumato* proveniente dal Brasile. La struttura principale del manufatto è costituita da fibre vegetali intrecciate a cui è annodata una ricca collezione di plumaria dalle colorazioni sgargianti, appartenente a uccelli di varie famiglie (*Ramphastidae*, *Amazona*, *Ara araruna*, *Ara macao*, *Ara chlopterus* e anatre). Il fattore di degrado di questa tipologia di manufatti è determinato principalmente da interazioni di tipo chimico-fisico che portano a un indebolimento della β -cheratina della plumaria, particolarmente sensibile alla presenza di inquinanti atmosferici nell'ambiente conservativo, da processi

di degrado foto-chimici causati dall'illuminazione e dagli attacchi biologici determinati dagli insetti (principalmente *Dermistidae* e *Tineidae*).

- *Reperto umano (mummia)* con tracce di indumenti, proveniente da Cuzco in Perù (XVI secolo). La mummia è in posizione fetale e avvolta quasi interamente da un tessuto tinteggiato in rosso, probabilmente ottenuto con coloranti di origine naturale. Si tratta di una testimonianza estremamente delicata poiché composta da materiale organico altamente deperibile e soggetto ad attacchi microbiologici; va sottolineato inoltre il problema dell'approccio espositivo corretto e rispettoso in quanto si tratta di resto umano.

- *Abito cerimoniale tahitiano – Heva*. L'abito cerimoniale è una tipologia di manufatto polimaterico composto da numerose parti (copricapo *Pātia* con valve di madreperla *Pa-raè*, pettorale *Pa-utu* con frangia decorativa *Ahu pārau*, veste inferiore *Ahu-aipu*, fusciasca *Naou-naou* e nacchere in conchiglia *Teté*) realizzate con materiali di natura organica e inorganica: penne timoniere di fetonte (*Phaeton rubricauda* e/o *Phaeton lepturus*), valva di *Atrina vexillum*, legno di palma di cocco (*Cocus nucifera*), valve di ostrica perliera (*Pinctada margaritifera*), madreperla (*Pinctada margaritifera*), fibre di cocco, tapa, gusci di noce di cocco. La complessità conservativa deriva dalla forte eterogeneità dei materiali costitutivi: elevata sensibilità della tapa alle variazioni termigrometriche e della plumaria all'esposizione luminosa, e l'occorrere di depositi salini sulla superficie delle conchiglie.

- *Scultura lignea Māori – Poù Poù*, proveniente dalla Nuova Zelanda. Il *Poù Poù* è un manufatto ligneo decorativo appartenente a una struttura architettonica chiamata *Runanga Whare Internal Post*: si tratta di uno degli stipiti interni posti a copertura delle colonne dello stesso edificio. La scultura è realizzata in un'unica asse, sulla quale si rilevano alcune tracce degli strumenti impiegati per l'intaglio dei volumi e delle decorazioni. Dal punto di vista conservativo, il legno è molto sensibile alle variazioni di umidità relativa in quanto fortemente igroscopico e anisotropo.

Insieme ai responsabili del museo, e in particolare alla Dott.ssa Maria Gloria Roselli, sono state recuperate le informazioni relative alle procedure di conservazione preventiva eseguite sulla collezione di Antropologia e Etnologia, al fine di valutarne ulteriormente le necessità.

È stata rilevata la presenza di un sistema di monitoraggio dei parametri climatici presente dal 2012, i cui dati sono disponibili per l'elaborazione.

Come strumento correttivo ai problemi di umidità, di prassi vengono inseriti periodicamente contenitori con acqua distillata all'interno delle vetrine per aumentarne l'umidità, a testimonianza dei ricorrenti problemi di clima secco, agente di rischio di deformazione e danneggiamento dei materiali maggiormente igroscopici.



Fig. 1. Reperti.

Il lavoro di valutazione del clima storico si è concentrato nell'analisi dettagliata dei dati climatici di T e UR, secondo la norma UNI EN 15757: 2010. Sono stati recuperati i dati dal sistema di monitoraggio installato nel 2012, che negli ultimi anni, a causa di errori tecnici, non ha funzionato con completa continuità.

Questo sistema prevede, inoltre, che i dati vengano scaricati manualmente da un operatore, il che non garantisce una risposta rapida in caso di situazione emergenziale.

Tale situazione ha reso necessaria l'installazione di un ulteriore sistema di monitoraggio utilizzando strumenti forniti da CEAM Group, azienda partner del progetto: tali strumenti sono basati sulla tecnologia LoRa, *long range*, e trasmettono i dati di T e UR a una centralina che invia in tempo reale i dati a una piattaforma *web-cloud* di *Internet of Things* (IoT, internet degli oggetti), una modalità di connessione di oggetti *smart* (Manfriani, 2021).

I dati ottenuti con i sensori già presenti in museo, per quanto parziali, sono stati quindi integrati con quelli forniti dai nuovi strumenti, per ottenere 26 mesi di monitoraggio di T e UR nelle sale espositive e ricavarne variabilità, media mobile e soglie di sicurezza.

Inoltre, l'aggiunta di ulteriori sensori all'interno delle vetrine storiche del Museo ha permesso di valutare la capacità delle vetrine di attenuare le fluttuazioni di umidità relativa per i nostri casi-studio, in comparazione con il clima delle sale museali.

La piattaforma utilizzata per il monitoraggio permette il controllo da remoto in tempo reale dei parametri termo-igrometrici e l'inserimento di soglie di allarme. Tale sistema rientra in uno degli obiettivi del progetto PREMUDE, ovvero la sperimentazione di una piattaforma IoT composta da una serie di strumenti e sensori intelligenti interconnessi, costituenti un sistema di supporto decisionale dinamico interattivo, che da un lato contiene le informazioni di base per la conservazione preventiva, e dall'altro riceve in tempo reale degli input dai sistemi di monitoraggio (Fig. 2).

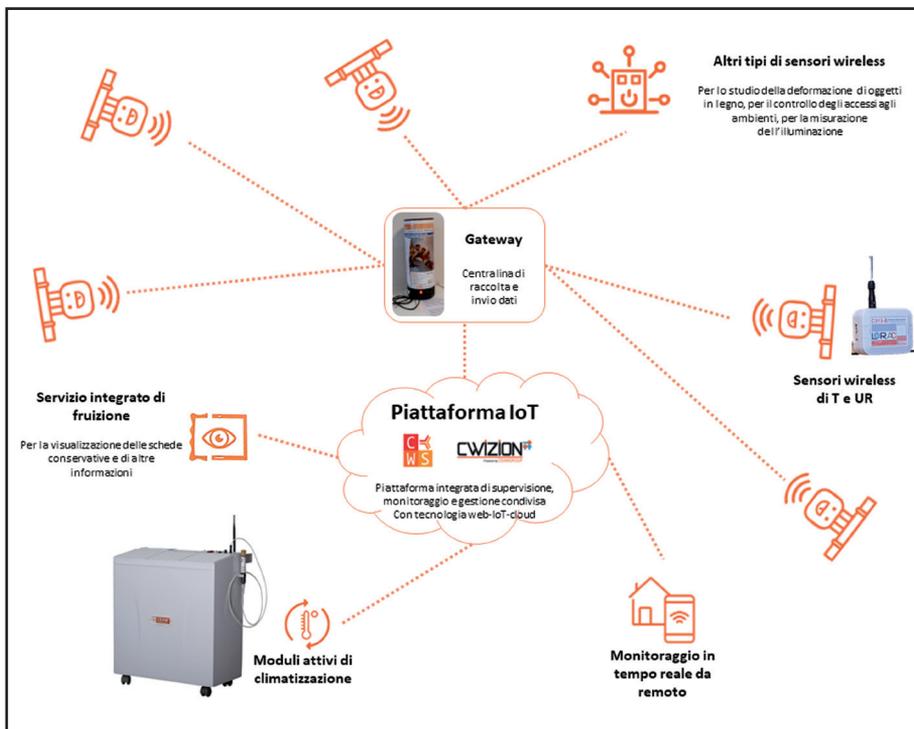


Fig. 2. Logica di sistema.

Questa piattaforma permette la visualizzazione dei dati in tempo reale, gli storici da cui scaricare i dati e la visualizzazione di eventuali allarmi di soglia. Inoltre ha reso possibile il monitoraggio anche in occasione delle ripetute recenti chiusure del Museo a causa della pandemia da covid-19. La piattaforma permette l'accesso condiviso a più livelli, per cui sia i tecnici del progetto che gli operatori del Museo hanno accesso a tutti o a parte dei dati contenuti nella piattaforma, comprese le schede conservative redatte dal restauratore. Ulteriori informazioni di carattere storico potranno potenzialmente essere disponibili anche ai visitatori del museo.

L'inserimento di soglie di allarme definite sull'analisi del clima storico e sulle *safe band* permette la visualizzazione in tempo reale degli eventi critici, sulla base dei quali è stato progettato un sistema di controllo del clima integrato alla piattaforma IoT tramite l'installazione di un generatore di umidità controllato dalla stessa piattaforma.

La tecnologia LoRa permette di monitorare i dati anche quando i sensori di rilevazione e la centralina sono posti molto lontani fra loro: per questo la ricerca è stata estesa anche a un reperto umano, una seconda mummia proveniente dal Perù conservata in magazzino, in un ambiente climatico ritenuto più idoneo e controllato rispetto a reperti analoghi esibiti nelle sale espositive. Anche in questo caso, le valutazioni sullo stato di conservazione risultano un utile supporto per eventuali strategie da adottare, per migliorare l'ambiente e, nello specifico, per pianificare modifiche al sistema di climatizzazione.

Tali osservazioni – sulle sale, sulle vetrine e sulle zone di deposito del Museo – sono state oggetto di valutazioni integrate che hanno esplorato le interazioni tra gli oggetti appartenenti alla collezione e l'ambiente del Museo.

È stata eseguita una valutazione degli effetti correttivi sul clima, ottenuti sia sulla base delle linee guida della normativa UNI-EN sopracitata che sui riferimenti ambientali riportati in letteratura. È stato quindi deciso di connettere gli strumenti di controllo dell'umidità relativa al sistema IoT attraverso una connessione dinamica.

Il Museo ha quindi acquistato e installato un umidificatore *smart*, appositamente predisposto da CEAM Group per essere connesso alla piattaforma digitale. Lo strumento, attualmente posizionato nella Sala 13 dove si trovano alcuni dei casi-studio individuati (Fig. 3), permette la gestione da remoto di eventuali situazioni ritenute pericolose.

Il *range* di operatività delle strumentazioni è basato sulle valutazioni del clima storico e sulle soglie di sicurezza calcolate (*safe band*) su di esso, come precedentemente fatto per altri contesti museali (Manfriani, 2021).

In conclusione, la conservazione dei beni culturali è una disciplina che presenta aspetti di notevole complessità, in quanto prova a mettere in relazione «due livelli di discorso apparentemente collocati su piani differenti: la pratica, del fare materiale di restauro legato in apparenza solo a materiali e tecniche, e la teoria, le idee, le riflessioni quasi di ordine filosofico» (Ciatti, 2009, 11).

Nel caso specifico della CP, e della valutazione e controllo del clima di conservazione più in particolare, si aggiunge l'impossibilità di classificare a priori il comportamento di un oggetto, i cui diversi materiali tendono a mettersi in equilibrio con l'ambiente in maniera differenziata.



Fig. 3. Umidificatore.

L'approccio metodologico proposto e attuato dal Progetto PREMUDE interpreta e risponde in modo più flessibile e puntuale ai complessi bisogni dei materiali di un'opera, in particolare di quelli di natura organica e igroscopica, nella sua relazione con l'ambiente come sostenuto dalla stessa norma UNI EN 15757: 2010, e appare inoltre più sostenibile per contesti museali che hanno difficoltà a implementare sistemi di controllo alle proprie collezioni. Infatti tale metodologia tollera parametri solitamente più flessibili dei valori target comunemente accettati come condizioni ideali per la conservazione dei beni culturali. In definitiva la metodologia proposta dalla norma UNI EN 15757: 2010 spinge verso uno sforzo collettivo interdisciplinare, ormai improrogabile nel campo della conservazione dei beni culturali.

Le considerazioni fatte fin qui, sulla base della storia degli approcci alla conservazione preventiva in contesti italiani e internazionali, sottolineano l'importanza di un processo decisionale condiviso tra curatori, restauratori, esperti scientifici, ingegneri e architetti, per lo studio di sistemi di implementazione di controllo del clima in relazione ai costi energetici ed economici, con l'obiettivo di creare una realtà più efficace di protezione delle collezioni.

Alla rilettura critica della normativa e delle linee guida di valenza nazionale e internazionale, e alla lettura dei dati nell'ottica del concetto di clima storico, il progetto PREMUDE ha affiancato un approccio di monitoraggio e di controllo ambientale basato su tecnologie innovative, quelle di IoT.

La connessione di dati tra oggetti, strumenti di misurazione e controllo del clima, permette che il sistema risponda a situazioni variabili nel tempo. Questo agevola un'autoregolazione degli impianti, con una supervisione da remoto da parte degli operatori, che rende più efficiente, semplice ed economica la risoluzione di eventuali criticità e problemi rispetto a sistemi «tradizionali». Un sistema innovativo per la conservazione che, associato all'approccio gestionale degli ambienti museali introdotto dalla norma UNI

EN 15757: 2010, sembra promettere un controllo sostenibile e modulabile sulle singole esigenze delle collezioni, come dimostrato dal caso del Museo di Antropologia e Etnologia di Firenze.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. 2019. ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating and Air-Conditioning applications.
- Ankersmit, B., Strappers, M.H.L. 2017. *Managing indoor climate risks in museums*. Amsterdam: Springer
- Bernardi, A. 2004. *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*. Saonara (PD): Le Pleiadi
- BSI Publicly Available Specification 198. 2012. *Specification for managing environmental conditions for cultural collections*.
- BSI Published Document 5454. 2012. *Guide for the storage and exhibition of archival materials*.
- Camuffo, D. 2019. *Microclimate for cultural heritage. Measurement, Risk assessment, Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*. Terza edizione. Amsterdam: Elsevier
- Caple, C. 2012. Introduction. In: C. Caple (a cura di), *Preventive conservation in museums*. Oxford (UK): Routledge.
- Ciatti, M. 2009. *Appunti per un manuale di storia e teoria del restauro*. Dispense per gli studenti. Firenze: Edifir.
- Decreto Legislativo 42, 22 gennaio. 2004. *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*.
- Grattan, D., Michalski, S. 2010. *Environmental guidelines for museums*. Internet edition: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/environmental-guidelines-museums.html>.
- ICOM - International Council of Museums. 2008. *Terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage*. Shanghai.
- ISTAT - Istituto Nazionale di Statistica. 2019. *I musei, le aree archeologiche e i monumenti in Italia*. Edizione internet: https://www.istat.it/it/files/2019/01/Report-Musei_2017_con_loghi.pdf.
- Lucchi, E. 2018. Review of preventive conservation in museum buildings, *Journal of Cultural Heritage*, 29: 180-193.
- Manfriani, C., Galdani, G., Goli, G., Carlson, B., Certo, A.C., Mazzanti, P., Fioravanti, M. 2021. The Contribution of IoT to the Implementation of Preventive Conservation According to European Standards: The Case Study of the «Cannone» Violin and Its Historical Copy, *Sustainability*, 13: 1900. Internet edition: <https://doi.org/10.3390/su13041900>.
- Michalski, S. 2000. *Guidelines for humidity and temperature in Canadian archives*. Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI).
- Michalski, S. 2016. Climate guidelines for heritage collections: where we are in 2014 and how we got here. In: *Proceedings of the Smithsonian Institution - Summit on Museum Preservation Environment*: 7-32.
- Miller, S. 2018. *The anatomy of a Museum: An Insider's Text*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Ministero per i beni e le attività culturali, Decreto Ministeriale 10 maggio. 2001. *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei*

musei.

- Ministero per i beni e le attività culturali, Decreto Ministeriale 21 febbraio 2018. *Adozione dei livelli minimi uniformi di qualità per i musei e i luoghi della cultura di appartenenza pubblica e attivazione del Sistema museale nazionale.*
- Thomson, G. 1978. *The Museum Environment*. London: Butterworths.
- Townsend, J.H., Knight, B. 2016. Editorial, *Studies in Conservation*, 61sup. 1: 1-2.
- UNI 10829: 1999. *Beni di interesse storico artistico – Condizioni ambientali di conservazione – misurazione ed analisi.*
- UNI EN 15757: 2010. *Conservazione dei Beni Culturali – Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici.*
- UNI EN 15759-1: 2012. *Conservazione dei beni culturali - Clima interno - Parte 1: Linee guida per riscaldamento delle chiese, cappelle e altri luoghi di culto.*
- UNI EN 15999: 2014. *Conservazione dei beni culturali – Linee guida per la progettazione di vetrine per l'esposizione e la conservazione di oggetti - Parte 1: Aspetti generali.*
- UNI EN 15759-2: 2018. *Conservazione dei beni culturali - Clima interno - Parte 2: Gestione della ventilazione per la protezione degli edifici che appartengono al patrimonio culturale e delle collezioni.*