UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE UMANISTICHE
PHD IN SCIENZE DEL PATRIMONIO E DELLA PRODUZIONE CULTURALE
XXXVII ciclo

CONSERVAZIONE PREVENTIVA: MONITORAGGIO MICROCLIMATICO CON DISPOSITIVI INNOVATIVI E RISPETTOSI DELL'AMBIENTE

Serena Rapisarda

Tutor:
Prof.ssa Anna M. Gueli
Prof. Carlo Trigona
Coordinatore:
Chiar.mo Prof. Pietro M. Militello

Anno Accademico 2023/2024

A ME che non ho mollato,
a chi mi AMA senza alcuna Riserva.
Tu credici, credici, credici, credici, CREDICI SEMPRE!

"Un'opera d'arte si spegne, impallidisce
nelle stanze dove ha un prezzo ma non un valore."

Ernst Jünger

Indice

Introduzione 1

Capitolo 1: Monitoraggio microclimatico negli ambienti confinati 4
- *La conservazione preventiva*
- *Fonti di degrado e monitoraggio*
- *Normativa e buone prassi*

Bibliografia capitolo 1 18

Capitolo 2: Dispositivi per il monitoraggio microclimatico 20
- *Misura dei parametri fisici*
- *Strumenti per la misura della temperatura e dell'umidità relativa*
- *Strumenti per la misura dell'illuminamento e della radiazione UV*

Bibliografia capitolo 2 42

Capitolo 3: Dispositivi innovativi per il monitoraggio 44
- *Sensori alternativi*
- *La Sansevieria cylindrica per misure di illuminamento e radiazione UV*
- *Equivalente elettrico della Sansevieria cylindrica*

Bibliografia capitolo 3 63

Capitolo 4: Monitoraggio in situ con soluzioni alternative 64
- *Campagna di misure nel Museo Civico di Castello Ursino*
- *Campagna di misure nella Chiesa di Santa Caterina d'Italia a Malta*
- *Best practices per il monitoraggio microclimatico*

Bibliografia capitolo 4 86

Conclusioni e Prospettive 87

Bibliografia e Sitografia 90

Appendice – Normativa di riferimento 94

Ringraziamenti 123

Introduzione

Il patrimonio artistico e culturale rappresenta un elemento fondamentale dell'identità storica e sociale di una comunità. La sua conservazione e valorizzazione sono obiettivi primari per le istituzioni e gli studiosi, in quanto queste opere costituiscono non solo una testimonianza del passato, ma anche una risorsa per il futuro. L'interesse verso la conservazione preventiva a dispetto del restauro ha fatto sì che ogni opera si protraesse nel tempo nella maniera più originale possibile. Ciò è stato possibile anche grazie alle numerose norme finalizzate alla protezione e alla prevenzione dei danni sulle opere d'arte.

Tuttavia, ogni opera è esposta a una serie di fattori fisici, chimici e ambientali che ne minano l'integrità se non monitorati con continuità. L'azione di questi fattori, primi fra tutti la temperatura, l'umidità relativa, le vibrazioni e l'illuminamento, può causare deterioramenti progressivi, lenti, spesso impercettibili ad occhio nudo, che diventano visibili solo quando il danno è irreversibile.

Negli ultimi anni, la ricerca nel campo della conservazione ha fatto significativi passi avanti grazie all'introduzione di tecnologie innovative per il monitoraggio delle condizioni ambientali, soprattutto in ambienti confinati, quali musei, chiese, pinacoteche, depositi in cui sono esposti e custoditi i beni culturali. Dispositivi avanzati, capaci di misurare con una precisione elevata parametri fisici potenzialmente dannosi per le opere, permettono interventi tempestivi e mirati per evitare danni e rallentare i processi di degrado.

Oltre alle soluzioni tecnologiche convenzionali, un'area di ricerca emergente si concentra sull'impiego di sensori naturali, basati su organismi viventi che hanno capacità tali da monitorare le grandezze fisiche d'interesse. In quest'ambito, ad esempio, sono protagoniste del lavoro di ricerca realizzato alcune piante, definite *living sensor®,* attraverso le loro risposte fisiologiche, sono in grado di rivelare variazioni ambientali in maniera sensibile e continua, offrendo un'alternativa ecologica e sostenibile agli strumenti tradizionali. Questa integrazione tra natura e

tecnologia apre nuove prospettive per la tutela del patrimonio artistico. Sempre nell'ottica della sostenibilità e delle soluzioni *eco-friendly*, il lavoro realizzato ha visto la caratterizzazione e la validazione *in situ* di dispositivi progettati ad hoc presso l'Università degli Studi di Catania, le cui dimensioni e la capacità di generare energia da fonti ambientali ne determinano l'innovatività. Questi strumenti consentono di effettuare monitoraggi microclimatici costanti e adattati alle caratteristiche del contesto e della problematica, garantendo una protezione efficace e non invasiva.

È doveroso fare delle distinzioni tra dispositivi commerciali, utilizzati di routine, e *living sensors*. I dispositivi convenzionali utilizzati per il monitoraggio microclimatico presentano una serie di limiti intrinseci che ne riducono l'efficacia in contesti specifici. In primo luogo, generano emissioni di CO_2 nel loro ciclo di vita, dalla produzione allo smaltimento; inoltre, spesso non garantiscono un elevato grado di mimetizzazione, risultando visibili e potenzialmente invasivi negli ambienti di installazione, come musei o luoghi di culto. Da non sottovalutare è la loro necessità di alimentazione continua o della sostituzione periodica delle batterie, con implicazioni in termini di manutenzione. I costi di acquisto e gestione possono essere significativi, così come quelli per lo smaltimento che richiede anche particolare attenzione per evitare impatti ambientali negativi.

I *living sensors* rappresentano una soluzione innovativa che supera molte di queste criticità. Basati su organismi viventi come le piante, essi offrono un elevato grado di mimetizzazione, integrandosi armoniosamente nell'ambiente circostante. Sono biodegradabili e privi di sostanze tossiche, il che garantisce un impatto ambientale minimo. La loro crescita lenta e la capacità di monitorare il microclima senza necessità di batterie o alimentazione continua li rendono estremamente pratici e sostenibili. Inoltre, i *living sensors* non solo non generano CO_2, ma contribuiscono alla sua rimozione dall'ambiente, migliorando la qualità dell'aria e riducendo ulteriormente il loro impatto ambientale. Infine, i costi associati a questa tecnologia sono decisamente

più contenuti rispetto ai dispositivi convenzionali, rendendoli una scelta economicamente vantaggiosa.
Queste differenze rendono i *living sensor* una soluzione promettente per il monitoraggio microclimatico in spazi confinati come musei e chiese, combinando sostenibilità, efficienza e compatibilità con il contesto artistico e culturale.

L'obiettivo principale del lavoro di tesi realizzato è quello di approfondire la relazione tra le soluzioni innovative per il monitoraggio microclimatico nell'ambito del patrimonio culturale e l'effettivo valore aggiunto nel campo della conservazione preventiva in due tipologie di spazi confinati: una pinacoteca e un luogo di culto. Obiettivo specifico è stato quello di, alla luce dell'ampia normativa esistente, mettere a punto una procedura e delle *best practices* per la realizzazione di campagne di monitoraggio microclimatico che garantiscano le basi ed i presupposti per una efficace conservazione preventiva.

Il lavoro realizzato è, in particolare, nel seguito presentato in quattro capitoli il primo dei quali introduce la conservazione preventiva con una descrizione delle possibili fonti di degrado cui sono soggette le opere di vario tipo nonché l'introduzione della normativa di interesse. Nel secondo capitolo vengono dettagliate le modalità ed i dispositivi maggiormente utilizzate per il monitoraggio microclimatico, nello specifico temperatura, umidità relativa, illuminamento e radiazioni UV, inserendo un elenco dei dispositivi commerciali maggiormente utilizzati. Il terzo Capitolo è dedicato all'impiego di *living sensors*® per effettuare monitoraggi microclimatici in luoghi confinati, anche mediante lo studio dell'equivalente elettrico di una *Sanseveria cylindrica.* Infine, il quarto capitolo descrive dei dispositivi *eco-friendly* ed autogeneranti utilizzabili *in situ*, in luoghi confinati come pinacoteche e luoghi di culto, e la metodologia per il loro utilizzo insieme alle *best practices* individuate. Le conclusioni del lavoro realizzato e le prospettive future chiudono il lavoro di tesi. In appendice viene dettagliata la normativa di riferimento per le applicazioni di interesse.

Capitolo 1 - Monitoraggio microclimatico negli ambienti confinati

La conservazione preventiva

Nell'ultimo secolo, l'attenzione e la cura per le opere d'arte e gli edifici storici è mutata. Il restauro descritto in *Padfield T. (1994),* pratica ben consolidata fino a quel momento, ha lasciato pian piano spazio alla conservazione preventiva. Quest'ultima consiste di un insieme di pratiche e strategie multidisciplinari, volte a preservare lo stato delle opere che sono parte del patrimonio artistico e culturale. Essa è svolta spesso in luoghi, già di per sé da considerarsi opere d'arte, scrigno di manufatti di alto interesse. Il focus della conservazione preventiva è l'identificazione di beni riconosciuti come unici ed insostituibili e la derivante volontà di goderne il più a lungo possibile nella loro forma originale.

Queste attività non hanno, però, avuto sempre l'importanza data loro attualmente, poiché in passato il microclima delle opere e dei luoghi deputati non era correttamente monitorato. Spesso si preferiva restaurare piuttosto che attenzionare il ruolo dell'ambiente e dei microrganismi potenzialmente dannosi per le opere e per il luogo che le ospitava, come nei casi presentati in *Ciferri, O. (2002)* in cui le opere mostravano macchie, muffe, scolorimento e tutta una serie di fenomeni di degrado.

La metodica della conservazione preventiva risulta essere un approccio basilare per garantire la salvaguardia a lungo termine del patrimonio artistico e culturale. Infatti, prevenire il degrado causato da agenti fisici, chimici, biologici, incluso quello che potrebbe essere indotto dai fruitori, è il focus di questa attività; tutto ciò volto ad evitare di dover ricorrere al restauro solo dopo che i danni siano visibili ad occhio nudo. Ciò che risulta fondamentale è l'individuazione, il monitoraggio e il contenimento, ove possibile, delle variazioni dei parametri fisici e anche chimici, quali temperatura, umidità relativa, illuminamento, vibrazioni, composizione dell'atmosfera, presenza di CO_2, particolato e altri inquinanti che rappresentano potenziali agenti di degrado per le opere d'arte.

Attraverso casi studio, nei quali vengono analizzate le condizioni delle opere e dei luoghi, è possibile elaborare strategie sempre più dettagliate e attente, che rispettino le opere. Per poter attuare queste pratiche nella maniera più sicura e standardizzata, sono state descritte prima delle linee guida che successivamente sono diventate normative concrete. Esse, infatti, definiscono i limiti entro cui i diversi luoghi e materiali permettono alle opere di conservarsi il più a lungo possibile nella loro forma originaria.

Uno degli aspetti da considerare quando si parla di conservazione preventiva è il cosiddetto "clima storico", attenzionato da *Camuffo D. (2019),* cioè il clima nell'ambiente in cui un'opera è esposta o conservata che, col trascorrere del tempo, può potenzialmente provocare danni all'opera stessa.

Strettamente legato alla conservazione preventiva è sicuramente il monitoraggio microclimatico, ovvero l'aspetto metrologico e di misura riguardante l'osservazione e l'analisi dei parametri che determinano il clima dell'ambiente in cui sono immerse le opere d'arte e che, se non adeguatamente monitorati, porterebbero al danneggiamento permanente dei beni. Ciò che risulta di fondamentale interesse è che i luoghi che contengono e fanno parte dei beni culturali, devono essere idonei ad accogliere in primis i manufatti, ma al contempo anche i visitatori. Per questo motivo alcuni dei lavori presenti in letteratura si sono focalizzati su studi che tenessero conto del confort termico di opere, visitatori e edifici, come in *D'Agostino V. et al. (2015),* dove è stato utilizzato il protocollo *SOBANE*, costituito da quattro fasi: *Screening*, *OBservation, Analysis ed Expertise*. Nello studio realizzato grazie al progetto *Friendly-Heating* finanziato dall'UE *Camuffo, D. (2011),* l'autore ha analizzato due diverse tipologie di riscaldamento: centralizzato e locale. Successivamente è stata testata una pellicola riscaldante che, posizionata in punti specifici delle panche (spalliera, seduta e ginocchiera), crea un confort termico per i fedeli e non degrada le opere all'interno della chiesa.

Un altro dei concetti legati strettamente alla conservazione, è sicuramente "l'acclimatazione", processo per il quale un'opera inserita in un contesto non idoneo

per un periodo molto lungo, si adatta ai parametri dell'ambiente circostante e riesce a contrastare l'effetto dei fattori potenzialmente dannosi. Ricollocarla in un altro luogo, seppur ritenuto più idoneo per la sua natura (sia essa in legno, in marmo o in altri materiali) potrebbe potenzialmente arrecare più danno di quello creato nell'ambiente in cui si è "acclimatata".

In letteratura sono svariati i lavori realizzati con il fine di studiare l'ambiente che circonda i manufatti, come presenta *Polijak, M. et al. (2023)* nella review che mostra ampiamente quali sono le valutazioni da considerare quando si vuole effettuare conservazione preventiva, soprattutto in edifici storici e/o chiese, tenendo sempre presenti le tempistiche ideali, la posizione geografica ed il clima. Per lo studio realizzato sul Duomo di Milano *Aste, N. et al. (2019),* si è monitorato il microclima interno, al fine di preservare il benessere dell'edificio e delle opere al suo interno.

I sei diversi dispositivi non invasivi utilizzati, grazie a una sonda a palloncino, hanno permesso di effettuare misurazioni a varie altezze. Gli autori hanno svolto due campagne: una preliminare di sei mesi e una definitiva di undici mesi, dimostrando che il microclima interno della chiesa non è adatto alla conservazione delle opere d'arte.

Lo studio riportato in *Cataldo R. et al. (2005)* ha attenzionato il comportamento della Cripta della Cattedrale di Otranto per 11 mesi. Gli autori hanno osservato che, grazie alle spesse pareti dell'edificio, il clima esterno non influisce sul microclima interno. Al contrario, le variazioni interne sembrano essere principalmente causate dall'apertura d'ingresso e dall'essiccatore d'aria. Inoltre, per analizzare i danni subiti da diverse colonne e affreschi, è stato condotto uno studio utilizzando la metodologia GIS. Il parere degli autori è che sarebbe necessario ventilare di più gli ambienti.

In *Moretti, E. et al. (2020)* gli autori hanno avviato una campagna di misure all'interno della Sala del Dottorato dell'Università di Perugia, luogo molto frequentato per via degli eventi accademici, ma che precedentemente era destinata alle discussioni dei futuri dottori. Essa custodisce libri antichi ed ha delle particolari decorazioni alle pareti, entrambi delicati. Il campionamento di misure è stato effettuato ogni 10 min

per temperatura, umidità relativa e CO_2. Dai risultati emersi, gli autori hanno potuto constatare che i range di umidità relativa rispettano gli standard, contrariamente alla temperatura e alla CO_2, sicuramente non adatte al patrimonio librario e potenzialmente disagevoli per i fruitori della Sala. Inoltre, altri danni possono essere causati dalla luce visibile ed UV non filtrata dai vetri delle finestre.

Gli autori *Radulescu, C. et al. (2019).* hanno focalizzato il loro interesse sul microclima interno e sul clima esterno del museo *Roman Mosain Edifice* al porto marittimo di Costanza in Romania, analizzando temperatura, umidità relativa e composizione del particolato per circa nove mesi. La campagna, suddivisa per stagioni, ha impiegato una stazione meteorologica e un campionatore di particolato per verificare se il comfort delle opere e dei visitatori fosse garantito, cosa che purtroppo non avveniva. Al termine della campagna, gli autori hanno formulato alcune proposte da presentare ai responsabili del museo.

Nel caso riportato in *Balocco, C. et al. (2020)* la campagna di misura si è focalizzata sul monitoraggio della temperatura dell'umidità relativa della zona circostante il chiostro di Sant'Antonio nell'attuale museo San Marco a Firenze che è stato un convento domenicano, luogo che ospita opere di Beato Angelico.

I risultati hanno mostrato che il microclima rientra solo parzialmente nei range di riferimento e che la metodologia utilizzata è valida per questo tipo di campagne, offrendo un supporto significativo agli enti coinvolti.

Dopo il terremoto del 2009 la chiesa di Santa Maria Annunziata di Roio a L'Aquila è stata restaurata e per lo studio presentato in *De Rubeis, T. (2020),* sono state effettuate delle simulazioni per l'inserimento di un impianto HVAC "*Heating, Ventilation & Air Conditioning*" descritto in *Mckoy, D. R., et al. (2023).* Al suo interno, essa ospita manufatti di interesse storico-artistico, e ciò che appariva preoccupante era la possibilità che queste opere si fossero acclimatate alle fluttuazioni presenti nella chiesa prima del restauro. La campagna è stata divisa in due fasi: quella preliminare, della durata 16 giorni, volta a identificare i punti critici, acquisendo misure di temperatura e umidità relativa da sei sonde ogni 15 minuti; e quella definitiva durata 24 giorni, per

cui sono stati utilizzati solo due dispositivi di temperatura e umidità relativa che campionavano ogni 15 minuti. Lo studio ha rilevato che il microclima della chiesa non è adatto alla conservazione delle opere; infatti, le fluttuazioni osservate non garantiscono il benessere né dei manufatti né degli occupanti. Le simulazioni hanno permesso di comprendere che l'implementazione di un impianto *HVAC* provocherebbe un aumento dei consumi energetici non indifferente, ma che allo stesso tempo permetterebbe un controllo del microclima più adatto alle opere.

Alla luce del crescente interesse nella realizzazione di campagne di misurazione sempre più ampie e complesse, il ruolo dei curatori e degli altri professionisti nel settore dei beni culturali è cambiato. Questo cambiamento ha portato a una maggiore consapevolezza dell'importanza e della necessità di figure multidisciplinari all'interno delle istituzioni preposte. Ogni figura esperta, come curatori d'arte, fisici, ingegneri, conservatori, restauratori e altre, contribuisce alla realizzazione di lavori multidisciplinari finalizzati a condurre studi che comprendano più ambiti e siano più completi ed esaustivi, esse infatti riescono ad attuare un piano di prevenzione e protezione efficace per cui si ha bisogno di competenze specifiche. Grazie all'apporto delle loro competenze è possibile creare una rete più ampia e incisiva nello studio dell'ambiente che circonda le opere. La loro inclusione in questi lavori ha messo l'accento sull'importanza del monitoraggio dei parametri fisici, per prevenire il deterioramento delle opere.

Fonti di degrado e monitoraggio

Le fonti di degrado che possono arrecare danni alle opere e/o agli edifici sono svariate, tra queste le più osservate sono sicuramente temperatura, umidità relativa, ed illuminamento che da sole o combinate, possono creare danni irreversibili senza un corretto e costante monitoraggio. La natura degli oggetti custoditi nei luoghi deputati all'arte ha la necessità di essere riconosciuta e conservata con caratteristiche termo-igrometriche specifiche ed adeguate; infatti, le proprietà termiche dei differenti materiali sono fortemente influenzate dai parametri fisici citati ed ogni materiale

reagisce ad essi modificando il proprio stato in varie conformazioni, il che può portare ad un deterioramento non indifferente delle opere come ad esempio efflorescenze, presenza di macchie scure, sbiadimento, variazioni della struttura originale.

Nello specifico le variazioni di *temperatura* frequenti possono causare:

- ***Stress termico***, che può arrecare la formazione di microfratture nei materiali;
- ***Dilatazione e contrazione***, che può arrecare crepe, distacchi o deformazioni in materiali come legno e tela;
- ***Degradazione chimica***, che accelera l'ossidazione dei metalli a temperature elevate.

A sua volta, *l'umidità relativa*, può arrecare danni come:

- ***Crescita di muffe e funghi***, che causano la comparsa di macchie, alterazioni del colore e inducono processi degradativi meccanici e biochimici con formazione di prodotti dannosi per l'opera;
- ***Degradazione dei leganti***, che causa la formazione di crepe o il distacco dallo strato pittorico;
- ***Corrosione***, che accelera il degrado dei metalli in oggetti come le armature, etc;
- ***Assorbimento dell'umidità***, che causano rigonfiamenti, deformazioni o crepe in materiali come il legno e la carta.

I danni possono essere arrecati anche dalla scorretta *illuminazione* che può originare:

- ***Danni da radiazioni ultraviolette***, che causano lo sbiadimento e la decolorazione di materiali come tessuti e carta;
- ***Surriscaldamento***, causata anche dalla collocazione rispetto alle sorgenti di luce, porta all'alterazione della struttura dell'opera;
- ***Fotodegradazione***, che porta al deterioramento e alla fragilità di materiali come tessuti, carta, pellicole, pigmenti e coloranti;
- ***Invecchiamento accelerato***, che causa ingiallimento e variazione dell'integrità.

È evidente che l'attenzione riservata ai parametri sopracitati, è il focus della conservazione delle opere d'arte come descritto in *Camuffo, D. (2019).* Nello studio di *Camuffo, D. et al. (2004)* sono state analizzate temperatura, umidità relativa puntando

il focus sull'illuminamento in varie parti della Sala dei Giganti di un palazzo medievale di Padova, luogo che ospita eventi e concerti con una capienza di circa 450 persone. Gli scambi di temperatura e umidità relativa, monitorati per alcuni mesi e che si verificano soprattutto durante i grandi eventi, sono significativi e potrebbero arrecare danni alle opere presenti nella sala e al soffitto in legno. In questo caso i risultati hanno portato alla luce che i range ottimali previsti non vengono sempre rispettati e che il degrado maggiore è imputabile alle radiazioni solari, che si è compreso innalzino la temperatura di circa 6 - 7 °C, e dai fasci luminosi ricreati dai proiettori durante gli eventi, di conseguenza gli autori hanno dato dei consigli per evitare che questi danni si protraggano nel tempo. In *Schito, E. et al. (2019)* viene presentata una procedura divisa in tre fasi per i rischi biologici e chimici a cui sono sottoposti i libri. La prima fase è dedicata allo studio del luogo e alla scelta delle posizioni, la seconda si concentra sulla campagna di misurazione, mentre la terza e ultima fase è riservata all'analisi dei dati. La campagna di misure, della durata sei mesi, ha monitorato temperatura e umidità relativa all'interno di una biblioteca storica a Coimbra. La campagna ha rivelato che il microclima interno non rientra negli standard e aumenta il rischio chimico e biologico. Per questo motivo, gli autori hanno consigliato di ridurre le variazioni giornaliere attraverso azioni locali mirate.

Per la campagna nella chiesa di San Vincenzo Martire, trattata in *Vuerich, E., et al. (2008),* in cui si trova la statua in marmo di Michelangelo ed affreschi antichi sono stati utilizzati dispositivi per monitorare temperatura, umidità relativa e concentrazione dell'ozono. I risultati della campagna durata 12 giorni, hanno sottolineato l'importanza di proteggere le opere all'interno della chiesa, poiché la concentrazione di ozono risulta essere paragonabile a quella dei paesaggi rurali e l'umidità relativa risulta superare i valori previsti per luoghi in cui vi sono fruitori. Questo studio preliminare è stato realizzato per comprendere le fluttuazioni presenti così da poter attuare un piano d'azione studiato nel dettaglio.

Il crescente interesse sviluppatosi negli ultimi 50 anni è notevole, prova ne è l'aumento del numero delle pubblicazioni scientifiche inerenti al tema della conservazione

preventiva, sia essa per edifici, luoghi di culto e opere d'arte, come viene illustrato ampiamente nella review *Lucchi, E. (2018)* dove vengono riportati svariati lavori e manoscritti.

Uno degli aspetti innovativi da considerare con attenzione, è sicuramente quello delle simulazioni energetiche ed ambientali mediante misure *in situ* e/o con modelli 3D, che danno la possibilità di realizzare un prospetto di ciò che potrebbe accadere nel medio e luogo periodo al microclima interno degli edifici e, di conseguenza la risposta che le opere d'arte al suo interno potrebbero dare.

Le simulazioni del microclima utilizzate da *Bonora, A. et al. (2021)* all'interno della sala 33 della Reggia di Venaria a Torino, ha dato prova del fatto che senza riscaldamento attivo HVAC, la sala non garantirebbe il benessere alle opere e dei visitatori, in quanto i limiti minimi non sono rispettati. In conclusione, l'impianto già in uso è adatto alle esigenze delle opere, poiché permette di evitare le fluttuazioni presenti quando non è attivo.

Il microclima interno della Cattedrale di Valencia in Spagna è stato indagato da *Ramírez, S. et al. (2021)* con tre modelli differenti, dopo le importanti modifiche apportate alla volta barocca. Durata due anni, la campagna ha misurato temperatura e umidità relativa utilizzando 29 sonde, tutte poste nei pressi di cornicioni, costoloni, pareti ed affreschi. Questo lavoro ha dato agli autori la possibilità di comprendere le potenzialità della metodologia denominata sPLS-DA, e allo stesso tempo ha messo in luce come il microclima interno abbia delle fluttuazioni non indifferenti, per questo motivo lo studio è stato ampliato utilizzando modelli più flessibili, in grado di monitorare al meglio il microclima interno.

Il cambiamento climatico, è un elemento altrettanto importante da considerare nell'analisi dei parametri, poiché esso potrebbe incidere sul comportamento del microclima interno di edifici storici, che a sua volta inficerebbe sulla risposta delle opere al suo interno. In *Rosina, E. (2021)*, lo studio si è concentrato su una chiesa situata sulle Alpi Retiche a confine tra Svizzera e Italia, costruita su uno strapiombo sopra il lago di Poschiavo e aperta solo nel periodo che va da giugno ad ottobre, poiché la

strada non permette di raggiungerla durante il resto dell'anno. Il monitoraggio di temperatura e umidità sia all'interno che all'esterno, avviato nel 2020 ed ancora in corso al momento della pubblicazione, ha dato modo agli autori di comprendere che le fluttuazioni interne della chiesa non rispettano i valori stabiliti dalla normativa, e che la struttura è perennemente sottoposta ad uno stress termico dovuto alle variazioni dell'irraggiamento solare. La campagna di misure all'interno della Cappella dello studente dell'Università di Siviglia, oggetto del lavoro di *Bienvenido-Huertas, D. et al. (2022),* è stata avviata per preservare le opere d'arte lì custodite, già state restaurate più volte, come il Cristo della Buona Morte, restaurato 4 volte in circa 40 anni. Impiegati due dispositivi in punti strategici, volti a misurare temperatura e umidità relativa, si è compreso che le fluttuazioni interne della Cappella non la rendono idonea a conservare opere al proprio interno, per questo motivo gli autori hanno consigliato di ampliare la campagna con il fine di attuare strategie efficaci per proteggere il patrimonio.

Nella campagna realizzata grazie al progetto "*Climate for Culture*" da *Leissner, J. et al. (2015)*, è stata eseguita una panoramica del clima in tre differenti periodi storici: passato, presente e futuro; infatti, il progetto prevede un monitoraggio dal 1961 e al 2100. Analizzando 474 località mediante simulazioni, si è compreso che i danni arrecati dal cambiamento climatico, vanno da semplice polvere a muffe. Il caso studio riportato, si è concentrato sul Grand Salon del Castello di Amerongen, monumento olandese, dove è possibile trovare differenti tipologie di opere. Ciò che secondo le simulazioni si prospetta è l'aumento di circa 2 °C in termini di temperatura, e l'aumento del rapporto medio dell'umidità relativa di circa 1 g/kg in inverno e 1,5 g/kg in estate.

Il lavoro in *Pioppi, B. et al. (2020)* è stato realizzato nel centro storico di Gubbio, grazie all'utilizzo di vari dispositivi alcuni dei quali indossabili, e tramite l'ausilio di stazioni metereologiche, volte a valutare i rischi causati dalle variazioni del clima esterno e di conseguenza del microclima interno. Nel caso studio realizzato all'interno del Palazzo dei Consoli. Sono state inoltre eseguite delle simulazioni per confrontare il dato reale

con quello ipotetico del prossimo futuro, che ha dato risultati alquanto preoccupanti; infatti, i risultati stimano un innalzamento tra i 4 °C e i 6 °C rispetto ai dati reali. Questo lavoro ha proposto una procedura valida a comprendere le fluttuazioni del clima futuro, così che sia possibile, mediante metodi focalizzati, ridurre i possibili rischi da esso causati.

Questi studi evidenziano l'importanza di seguire le normative e gli standard di benessere sia per le opere che per l'ambiente circostante. Infatti, se non adeguatamente controllate, le fluttuazioni possono causare diversi tipi di danni, ognuno dei quali è il risultato dell'interazione di uno o più parametri. Per questo motivo per ogni campagna si deve avere un piano d'azione specifico, che tenga conto del luogo esaminato, delle opere che esso custodisce e di conseguenza dei materiali di cui esse sono composte e dei parametri da monitorare per poter essere sicuri di proteggere i manufatti. Tutti questi elementi porteranno poi, con l'ausilio delle norme vigenti, alla pianificazione di interventi volti a migliorare, qualora ce ne fosse bisogno, la qualità e la quantità dei parametri fisici indagati.

Normativa e buone prassi

Ogni normativa è differenziata da una sigla di lettere e numeri diversi che la contraddistingue; la sigla **UNI** (Ente Italiano di Normazione) indica le norme italiane, mentre la sigla ***EN*** indica le norme elaborate dal *Comitato Europeo di Normazione* ***CEN***, che devono essere obbligatoriamente adottate dai Paesi membri. Le normative tecniche vengono costantemente aggiornate per riflettere le esigenze; pertanto, una norma ***UNI-EN*** rappresenta l'adozione di una normativa del *CEN* da parte dell'Italia; infatti, non è possibile che una norma *UNI* sia in contrasto con le norme del *CEN*. Nell'*Appendice*, sono riportate molte delle norme vigenti inerenti ai beni culturali.

Come già discusso in precedenza, per molto tempo l'aspetto di prevenzione non è stato curato nei dettagli come invece si è fatto negli ultimi decenni; infatti, il primo convegno inerente alla conservazione risale al 1967 *Thomson, G. (1968)*; si è dovuto però attendere il 1997, con l'introduzione della norma *UNI 10586:1997*, poiché non esistevano vere e

proprie norme scritte che potessero indirizzare gli addetti del settore, come storici dell'arte e curatori, ad una corretta conservazione dei beni culturali. Infatti, spesso le opere venivano riposte in luoghi con valori dei parametri fisici non adeguati. Per questo motivo è importante differenziare la normativa per tipologia di luoghi e materiali, così da comprendere l'esigenza del singolo oggetto, che ha un proprio microclima ottimale. In *Tabella 1* sono riportati i valori limite di temperatura, umidità relative ed illuminamento presenti nella normativa vigente *UNI 10829:1999*.

Tabella 1 Range dei valori limite riportati nella normativa UNI 10829:1999.

	Temperatura [°C]	**Umidità relativa [%]**	**Illuminamento [lux]**
Materiali e oggetti di natura organica			
Manufatti di carta, cartapesta, veline, tappezzerie	18–22	40–55	50
Tessuti, velari, tendaggi, tappeti, tappezzeria in stoffa, arazzi, seta, costumi, abbigliamento, paramenti religiosi, fibre naturali, sisal, juta	19–24	30–50	50
Cere, cere anatomiche	<18	Non Rilevante	150
Erbari e collezioni	21–23	45–55	50
Collezioni entomologiche	19–24	40–60	50
Animali, organi anatomici conservati in formalina	21–23	20–35	50
Animali, organi anatomici essiccati, mummie	21–23	20–35	50
Pellicce, piume, animali ed uccelli impagliati	4–10	30–50	50
Disegni, acquerelli, pastelli e simili su supporto cartaceo	19–24	45–60	50
Collezioni etnografiche, maschere, cuoio, indumenti di cuoio	19–24	45–60	50
Dipinti su tela, pittura ad olio su tela e canovaccio, tempere, guazzi	19–24	40–55	150
Documenti archivistici su carta o pergamene, papiri, manoscritti, volumi a stampa, collezioni filateliche	13–18	50–60	150
Rilegature di libri con pelle o pergamena	19–24	45–55	50
Lacche, mobili intarsiati decorati o laccati	19–24	50–60	50
Sculture policrome di legno, legno dipinto, pitture su legno, icone, pendole di legno, strumenti musicali di legno	19–24	50–60	50
Sculture in legno non dipinte, oggetti in vimini, pannelli di legno o corteccia	19–24	45–60	150
Materiali e oggetti di natura inorganica			
Porcellana, ceramica, grès, terracotta, tegole da scavo e non da scavo se demineralizzate	Non Rilevante	Non Rilevante	Non Rilevante

Pietre, rocce, minerali, meteoriti stabili (porose)	19–24	40–60	Non Rilevante
Mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, meteoriti (non porosi), fossili e collezioni di pietre	15–25	20–60	Non Rilevante
Metalli, metalli levigati, leghe metalliche, argenti, armature, armi, bronzi, monete, oggetti in rame, stagno, ferro, acciaio, piombo, peltri	Non Rilevante	<50	Non Rilevante
Metalli con siti di corrosione attivi	Non Rilevante	<40	Non Rilevante
Ori	Non Rilevante	Non Rilevante	Non Rilevante
Gesso	21–23	45–55	150
Vetri instabili, iridescenti e sensibili, mosaici di vetro sensibili	20–24	40–45	150
	Oggetti misti		
Pitture murali, affreschi, sinopie (staccate)	10–24	55–65	Non Rilevante
Pitture murali a secco (staccate)	10–24	50–45	150
Avori, corna, collezioni malacologiche, uova, nidi, coralli	19–24	40–60	150
Dischi fonografici	10-21	40–55	-
Fibre sintetiche	19–24	40–60	50
Film, fotografie a colori	0-15	30-45	50
Film, fotografie in bianco e nero	0-15	30-45	150
Nastri magnetici (esclusi nastri per computer e videotape)	5-15	40-60	-
Oggetti di materiali organici provenienti da zone di scavo umide (prima del trattamento)	<4	in aria satura	-
Materie plastiche	19-24	30-50	<300

Le norme che hanno avuto maggiore impatto nella conservazione preventiva sono la *UNI 10969 UNI 10969–2002* e la *EN 15757* (2010). In quest'ambito anche ***ICOM*** (*International Council of Museum*), ***ICCROM*** (*Centro internazionale di studi per la conservazione ed il restauro dei beni culturali*), ***MIC*** (*Ministero della Cultura*) e ***ASHRAE*** (*American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers*) sono stati fondamentali nel delineare gli standard delle condizioni ambientali per il benessere delle opere, edifici e fruitori, spesso utilizzati in aggiunta alle norme per ottenere un risultato più accurato.

Un altro ente che negli anni si è occupato di prevenzione e protezione è sicuramente ***l'UNESCO*** (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*), che protegge i siti riconosciuti come storici e/o importanti per la comunità tutta come dettagliato in *Jagielska-B. et al. (2021)*.

In aggiunta alle norme sono stati presentati in varie occasioni degli indici di rischio per il benessere delle opere e degli edifici, come in *Corgnati, S. et al. (2009)* dove viene presentata la metodologia PI-*Performance Index*, indice che restituisce per quanto tempo i range stabiliti dagli standard vengono rispettati. In questo caso studio, viene analizzato il microclima di un museo aperto da ottobre a marzo. Grazie a dispositivi installati nelle tre sale oggetto dell'analisi e a ulteriori strumenti posizionati vicino alle opere più importanti, è stato possibile monitorare il microclima interno. Analizzando i dati, gli autori hanno constatato che, nel mese di ottobre, i range del PI non venivano rispettati a causa del settaggio invernale dell'impianto HVAC, che necessitava di essere modificato. Questa metodologia si è rivelata valida per il monitoraggio microclimatico, poiché grazie alle sue performance è possibile comprendere le variazioni, ma al contempo si ha bisogno di campagne di durata medio-lunga (almeno 3-6 mesi).

In *Fabbri, K. (2021)* vengono presentati il HMR *Heritage Microclimate Risk*, ed il PRD *Predicted Risk of Damage*, nel primo caso si tratta del rischio causato dal microclima inadatto agli edifici o agli oggetti, mentre nel secondo caso si tratta del danno che il microclima potrebbe causare agli edifici o agli oggetti. Per convalidare questi due indici è stata presa in esame la sala 33 della Reggia di Venaria a Torino, grazie a delle sonde fornite dal CC&R (Centro Conservazione e Restauro) di Venaria, che hanno misurato temperatura e umidità per 10 anni dando un esito di rischio minimo per le opere al suo interno.

Non va, tuttavia, sottovalutata l'importanza di una buona predisposizione del personale addetto alla fruizione di un luogo, poiché è a contatto quotidiano con i visitatori e la sua pronta attenzione può essere fondamentale per la conservazione delle opere e dell'edificio stesso.

Esplorando le linee guida presenti in letteratura, è possibile evidenziare le differenti metodologie e i differenti dispositivi impiegati in ambienti confinati di interesse per il patrimonio culturale quali, ad esempio, musei e luoghi di culto, tra i quali vi è una distinzione nella norma vigente. Dallo studio realizzato è emersa anche l'assenza di

regole prestabilite o universalmente condivise riguardo le tempistiche adeguate degli interventi in ogni singolo monitoraggio, compresa la manutenzione nei luoghi in esame. Con l'obiettivo di effettuare uno studio sistematico e mettere a punto una procedura per il monitoraggio microclimatico, nell'ambito dell'attività di ricerca realizzata, a seconda della durata delle rilevazioni, i periodi sono stati classificati come: *brevi, medi e lunghi*.

Infatti, quando si pianificano campagne di monitoraggio microclimatico, è importante considerare attentamente i periodi a disposizione. Le campagne ottimali durano almeno un anno, in modo da comprendere il comportamento dei parametri durante tutte e quattro le stagioni. Tuttavia, sono presenti monitoraggi con diverse tempistiche che è possibile classificare come

- ***breve periodo*** (un giorno o poche settimane), come in *Vuerich, E., et al. (2008), De Rubeis, T. (2020);*
- ***medio periodo*** (qualche mese), come in *Schito, E. et al. (2019), Pioppi, B. et al. (2020);*
- ***lungo periodo*** (da un anno a più anni), come in *Silva, H. E. et al. (2020), Ramírez, S. et al. (2021), Fabbri, K. (2021).*

Come già detto, tale classificazione è una scelta metodologica che si allinea con le migliori pratiche consigliate dalle linee guida esistenti, favorendo un approccio più strutturato e organizzato alla conservazione preventiva. Tale schema, ispirato dall'analisi critica della letteratura e dall'esperienza maturata durante le attività di ricerca, rappresenta un contributo volto a ottimizzare le strategie di tutela del patrimonio culturale.

L'orientamento verso la conservazione preventiva, piuttosto che il restauro, ha avviato un dibattito incentrato sulla tutela delle opere e degli edifici attraverso analisi approfondite. Per realizzare tali campagne, è fondamentale utilizzare strumentazioni con le caratteristiche adeguate a monitoraggi microclimatici completi, assicurando al contempo un intervento il meno invasivo possibile.

Bibliografia Capitolo 1 - Monitoraggio microclimatico negli ambienti confinati

- Aste, N., et al. "Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage." Building and Environment 148 (2019): 240-257.
- Balocco, C., et al. "An experimental methodological approach aimed to preventive conservation and sustainable adaptive use of the cultural heritage." Procedia Structural Integrity 29 (2020): 25-33.
- Bienvenido-Huertas, D., et al. "Influence of special report on emissions scenarios and the representative concentration pathways scenarios on the preservation of churches with a deficient microclimate." Journal of Building Engineering 62 (2022): 105349.
- Bonora, A., et al. "Historic Indoor Microclimate, the role of HVAC in heritage buildings' restoration: The case of the Palace of Venaria Reale." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2069. No. 1. IOP Publishing, (2021).
- Camuffo, D. Microclimate for cultural heritage: Measurement, risk assessment, conservation, restoration, and maintenance of indoor and outdoor monuments. Elsevier, (2019).
- Camuffo, D. "The friendly heating project and the conservation of the cultural heritage preserved in churches." Developments in Climate Control of Historic Buildings, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2011): 7-12.
- Camuffo, D., et al. "The impact of heating, lighting and people in re-using historical buildings: a case study." Journal of Cultural Heritage 5.4 (2004): 409-416.
- Cataldo, R., et al. "Integrated methods for analysis of deterioration of cultural heritage: the Crypt of "Cattedrale di Otranto"." Journal of cultural heritage 6.1 (2005): 29-38.
- Ciferri, O. "The role of microorganisms in the degradation of cultural heritage." Studies in Conservation 47.sup1 (2002): 35-45.
- Corgnati, S. P., et al. "A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: Application to a temporary exhibit." Building and environment 44.6 (2009): 1253-1260.
- D'agostino, V., et al. "The museum environment: A protocol for evaluation of microclimatic conditions." Energy and Buildings 95 (2015): 124-129.
- de Rubeis, T., et al. "The restoration of severely damaged churches–Implications and opportunities on cultural heritage conservation, thermal comfort and energy efficiency." Journal of Cultural Heritage 43 (2020): 186-203.
- Fabbri, K., et al. "Two new indices for preventive conservation of the cultural heritage: Predicted risk of damage and heritage microclimate risk." Journal of Cultural Heritage 47 (2021): 208-217.
- Jagielska-Burduk, A., et al. "Cultural heritage education in UNESCO cultural conventions."Sustainability 13.6 (2021): 3548.
- Leissner, J., et al. "Climate for Culture: Assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations."Heritage Science 3 (2015): 1-15.
- Lucchi, E. "Review of preventive conservation in museum buildings." Journal of Cultural Heritage 29 (2018): 180-193.
- Mckoy, D. R., et al. "Review of HVAC systems history and future applications."Energies 16.17 (2023): 6109.
- Moretti, E., et al. "Microclimatic monitoring for book heritage preservation in historic buildings: preliminary investigation on "Sala del Dottorato" in Palazzo Murena, Perugia, Italy." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 949. No. 1. IOP Publishing, (2020).
- Padfield, T. "The role of standards and guidelines: Are they a substitute for understanding a problem or a protection against the consequences of ignorance? " Durability and change: The science, responsibility and cost of sustaining cultural heritage (1994): 191-99.

- Pioppi, B., et al. "Cultural heritage microclimate change: Human-centric approach to experimentally investigate intra-urban overheating and numerically assess foreseen future scenarios impact." Science of the Total Environment 703 (2020): 134448.
- Poljak, M., et al. "Microclimatic monitoring—the beginning of saving historical sacral buildings in Europe." Energies 16.3 (2023): 1156.
- Radulescu, C., et al. "Seasonal Variability in the Composition of Particulate Matter and the Microclimate in Cultural Heritage Areas." Atmosphere 10.10 (2019): 595.
- Ramírez, S., et al. "A methodology for discriminant time series analysis applied to microclimate monitoring of fresco paintings." Sensors 21.2 (2021): 436.
- Rosina, E., et al. "Microclimate monitoring of Historical Buildings: The case study of San Romerio Church (Italy)." art'21 13th international conference on non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage. ARG, (2021).
- Schito, E., et al. "A procedure for identifying chemical and biological risks for books in historic libraries based on microclimate analysis." Journal of Cultural Heritage 37 (2019): 155-165.
- Silva, H. E., et al. "Microclimatic analysis of historic buildings: A new methodology for temperate climates." Building and Environment 82 (2014): 381-387.
- Thomson, G. "Contributions to the London Conference on museum climatology, 18-23 September 1967." (No Title) (1968).
- Vuerich, E., et al. "Indoor measurements of microclimate variables and ozone in the church of San Vincenzo (Monastery of Bassano Romano—Italy): A pilot study." Microchemical Journal 88.2 (2008): 218-223.
- UNI - Ente Italiano di Normazione (consultato il 20-06-2024)

Capitolo 2 – Dispositivi per il monitoraggio microclimatico

Misura dei parametri fisici

Nel panorama della conservazione dei beni culturali, il monitoraggio e gli accurati interventi effettuati in loco sono pilastri fondamentali per garantire la longevità dei manufatti storici. Come descritto nel capitolo 1, sono varie le fonti di degrado che possono danneggiare le opere d'arte, per questo motivo risulta essenziale attuare dei monitoraggi completi e a lungo termine, affinché le opere possano mantenere la loro bellezza ed autenticità originale. I dispositivi impiegati per effettuare tali monitoraggi, i range di misura, l'accuratezza, la risoluzione, incertezze, i principi di funzionamento e le loro caratteristiche ottimali riportate in *Tabella 2* e presenti nella normativa vigente *UNI 10829:1999*, linee guida per addetti e non addetti del settore che si occupano di preservare i beni culturali. Prevalentemente, ciò che risulta essenziale conoscere dei diversi dispositivi secondo la norma ISO 5725, e specificate in IEC 60050 - Vocabolario elettrotecnico internazionale sono:

- ***Parametri di misura***, esso stabilisce quali e quanti parametri il dispositivo riesce a misurare;
- ***Campo di misura***, intervallo definito da due valori del misurando, o quantità da fornire, entro il quale sono specificati i limiti di incertezza dello strumento di misura;
- ***Accuratezza***, la vicinanza dell'accordo tra il risultato t e il valore di riferimento accettato;
- ***Precisione,*** qualità che caratterizza la capacità di uno strumento di misura di fornire un valore indicato vicino ad un valore reale del misurando;
- ***Risoluzione,*** attitudine di un dispositivo per misurazione e/o-regolazione a risolvere stati diversi del misurando durante la misurazione. Essa riguarda la capacità del dispositivo di segnalare una piccola variazione del misurando senza peraltro valutarne l'entità;

- ***Sensibilità,*** quoziente tra la variazione dell'indicazione e la corrispondente variazione del valore del misurando;
- ***Livello di rumore,*** variazione della grandezza costituente il rapporto di un segnale non correlata all'informazione da esso trasmessa;
- ***Incertezza,*** parametro, associato al risultato di una misura, che caratterizza la dispersione dei valori che potrebbero ragionevolmente essere attribuiti al misurando.

Solitamente, per i dispositivi commerciali questi dati vengono forniti direttamente dal produttore, che deve aver caratterizzato il dispositivo prima dell'immissione in commercio. Il fine ultimo è quello di utilizzare dispositivi e tecniche sempre meno invasive e allo stesso tempo maggiormente performanti.

Tabella 2 Caratteristiche minime delle attrezzature di misura indicate nella norma UNI 10829:1999.

Temperatura dell'aria:			
	Campo di misurazione	**Accuratezza di misura**	**Intervallo di tempo**
	da -20 °C a 60 °C	*0.5 °C*	*almeno 1 min*
Umidità relativa dell'aria:			
	Campo di misurazione	**Accuratezza di misura**	
	dal 10 % al 90 %	*2.5 %*	
Temperatura superficiale:			
	Campo di misurazione	**Accuratezza di misura**	
	da -20 °C a 60 °C	*0.5 °C*	
Illuminamento:			
	Campo di misurazione	**Accuratezza di misura**	**Errore introdotto dal dispositivo**
	da 0.1 lx a 90.000 lx	*±3 % del valore*	*<2 %*
Radiazione ultravioletta:			
	Campo di misurazione	**Accuratezza di misura**	**Campo di radiazione ultravioletta**
	da 0.3 $\mu m \leq \lambda \leq 0.4$ μm	*±5 % del valore*	*0 $\mu W/cm^2$ a 200 $\mu W/cm^2$*

Strumenti per la misura della temperatura e dell'umidità relativa

Spesso i sensori di temperatura e di umidità relativa sono riuniti nello stesso dispositivo e la loro comune collocazione permette un monitoraggio di base completo e meno invasivo, poiché come già descritto in precedenza essi sono i due parametri fisici più monitorati nel campo dei beni culturali. Il monitoraggio eseguito da *Silva, H. E. et al. (2014)* all'interno della chiesa di San Cristoforo a Lisbona è durato quasi due

anni e gli autori si sono serviti di sensori *H1-Hobo U12-013* all'esterno, una sonda *Delta T RHT2nl (D1)* ed un termoresistore all'interno, inoltre con lo scopo di confrontare i dati, un sensore portatile (*H2*) e un data-logger *Delta T DL2e*, applicando metodologie per analizzare i luoghi che si trovano in climi temperati. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli di altri luoghi facendo riferimento alle norme per la conservazione dei beni culturali in vigore in quel momento.

I luoghi antichi, come le chiese medievali, non hanno impianti *HVAC* per proteggere le opere al loro interno; infatti, nello studio condotto in *Napp, M. et al. (2015)* gli autori hanno monitorato la Chiesa della Santa Croce di Harju Risti in Estonia con il fine di verificare due tipologie differenti di climatizzazione. I data-logger *Hobo U12* utilizzati hanno monitorato la temperatura e l'umidità relativa per più di un anno e mezzo, mentre un data-logger *Tinytag Plus2* monitorava il consumo energetico dei sistemi di climatizzazione. Sono state effettuate tre diverse simulazioni, ognuna con un differente sistema di climatizzazione, quello che ha mostrato risultati migliori è stato quello denominato *IDA-ICE*, che ha permesso di osservare che il consumo di energia in luoghi dove non vi è un sistema di climatizzazione, dipende principalmente dal clima esterno.

Nello studio effettuato in *Sciurpi, F. et al. (2015)* sono stati esaminati il microclima del luogo e all'interno di alcune teche nella sezione di zoologia del Museo "La Specola" di Firenze, dove sono conservate alcune cere anatomiche che sono molto sensibili alle alte temperature. Sono stati impiegati venti data-logger fissi tra sale e vetrine che inviano i dati ad un pc grazie alla rete LAN. Iniziata nel 2011 la campagna era ancora in corso al momento della pubblicazione. I dati hanno permesso di definire anche l'indice di prestazione e quindi la percentuale di tempo entro cui i range di conservazione ottimali vengono rispettati. Il parametro fisico maggiormente problematico all'interno del Museo è l'elevata temperatura, ma allo stesso tempo anche l'umidità relativa ha raggiunto condizioni non ottimali. Per questo motivo si è ben pensato di sostituire vetri e serramenti per ridurre i carichi termici interni; inoltre, di due delle sale è stato realizzato un modello mediante *Design Builder*. I dati ricavati dalle simulazioni,

permettono di comprendere che l'adeguamento dei vetri abbassa anche il fabbisogno energetico del museo per il raffreddamento. Nello studio proposto in *D'Alvia, L. et al. (2016)* è stata utilizzata una rete di sensori wireless con tecnologie *ZigBee* esaminate in *Ramya, C. M. et al. (2011)* compresi un sensore di temperatura, umidità relativa e pressione *Bosh BNE280* ed un luxmetro *Silicon Lab Si 1445*. Tutte le misure preliminari a cui è stato sottoposto il prototipo creato si sono dimostrate stabili ed accurate per il monitoraggio in luoghi destinati ai beni culturali.

Il lavoro effettuato in *Sileo, M. et al. (2017)* ha esaminato il microclima della cripta di San Francesco d'Assisi a Irsina, utilizzando diversi sensori. Il monitoraggio è durato un anno per i dispositivi *CS*, e otto mesi per i dispositivi *LC*, dati che sono stati confrontati per comprendere in maniera più esaustiva le variazioni. Le pareti della cripta risultavano già danneggiate da efflorescenze probabilmente create dall'alto tasso di umidità relativa, ciò che è emerso dallo studio è che durante la campagna ci sono state vari momenti in cui si è formata della condensa all'interno della cripta, per questo motivo ciò che viene consigliato è un impianto di condizionamento dell'aria. Il monitoraggio ha permesso di validare le due metodologie impiegate che non hanno mostrato grandi differenze, ma che allo stesso tempo devono essere validate per lunghi periodi anche in altre condizioni.

Nello studio effettuato in *Frasca, F. et al. (2017)* è stato monitorato con tre sensori termo-igrometrici interni *S-THB-M002*, uno esterno *Pro V2 U23-002* posizionato nei pressi del campanile ed un sensore di CO_2 *GMM222* collegati ad un data-logger *Hobo Micro Station H21-002*, il microclima interno ed esterno dell'Abbazia di Mogila a Cracovia in Polonia, dov'è possibile trovare un trittico scolpito che rappresenta la Madonna col Bambino ed una scultura lignea del Cristo Miracoloso. Lo studio durato tutto il 2013 ha permesso agli autori di comprendere grazie ai dati microclimatici raccolti, che le variazioni non causano danni alle opere che sono lì custodite; inoltre è stato valutato il clima storico nel quale le opere si sono acclimatate seguendo le direttive della norma EN 15757:2010 ed è stato riscontrato che siano i servizi liturgici a causare le maggiori

variazioni di umidità relativa anche se non risultano essere pericolose per le opere d'arte.

Nel lavoro presentato in *Aste, N. et al. (2019)* gli autori hanno utilizzato un pallone aerostatico a cui sono stati integrati vari dispositivi per il monitoraggio, tra cui *Episensor TES-11/HTS-10, Hobo UX100-011, Hobo U12-011.* Le due campagne sono durate complessivamente diciassette mesi, sei quella preliminare e undici quella definitiva. Grazie ad essi è stato possibile monitorare il microclima a sei diverse altezze all'interno del duomo di Milano. Come già citato si è compreso che il luogo non è adatto per la conservazione dei beni presenti all'interno, per questo motivo gli autori hanno esaminato l'implementazione futura di un modello virtuale che possa supportare gli studi adattati.

Molti dei lavori si sono avvalsi di dispositivi IoT (*Internet of Things*), un esempio è in *Laghari, A. A., et al. (2021),* infatti l'utilizzo di questi dispositivi rende i monitoraggi più semplici da acquisire ed analizzare. In *Maksimović, M. et al. (2019)* gli autori della campagna svolta all'interno del Museo dell'Antica Chiesa dei Santi Arcangeli Michele e Gabriele di Sarajevo, considerato un luogo importante per via delle sue iconiche collezioni, hanno utilizzato dispositivi *IoT s*u tre livelli. Ognuno di questi livelli (applicazione, comunicazione e percezione) aveva uno specifico compito, dall'acquisizione alla comunicazione. I dispositivi si sono rivelati un buon metodo di monitoraggio, che però ha bisogno di un controllo costante per via della batteria.

Nel lavoro di *Schito, E. et al. (2019)* ci si è concentrati sulla conservazione nelle biblioteche storiche con l'ausilio di dispositivi *HOBO UX100-003* per il monitoraggio microclimatico durato sei mesi. Essi hanno permesso di analizzare con diverse procedure il rischio biologico e chimico di danneggiamento a cui vengono potenzialmente esposti i libri, che in questo caso è alto e per questo motivo bisogna ricreare un microclima adeguato.

In vari casi sono state realizzate delle applicazioni e/o piattaforme ad hoc che si avvalgono di differenti tecnologie, che hanno reso la fruizione, l'acquisizione e l'elaborazione dei dati una metodologia quanto più semplice, non invasiva e rapida

possibile. Nel lavoro presentato in *Campobello, G. et al. (2020)* è stata sviluppata un'architettura chiamata *IoT MHECHA* per il monitoraggio del microclima grazie all'utilizzo della tecnologia LoRa *Devalal, S. et al. (2018).* Costituita da tre livelli ognuno con il proprio ruolo: livello di rilevamento (dove sono posizionati i sensori), livello fog (dove i dati vengono acquisiti) e livello di applicazione (dove l'interfaccia viene utilizzata dai fruitori). Questo sistema è stato validato nel caso studio di Palazzo Zanca a Messina, dove sono stati eseguiti scavi che hanno portato alla luce le mura che bisogna monitorare. In *Moretti, E. et al. (2020)* all'interno della Sala del Dottorato hanno monitorato, per sette mesi ed ancora in atto al momento della pubblicazione, il microclima grazie a vari strumenti, un termo-igrometro *SALMOIRAGHI* che acquisiva in continuo ed un data-logger *TINYTAG Ultra2 Gemini* che acquisiva ogni dieci minuti. Entrambi acquisivano sia temperatura che umidità relativa.

Per lo studio svolto in *De Rubeis, T. et al. (2020)*, gli autori hanno utilizzato due dispositivi all'interno della Chiesa di Santa Maria Annunziata di Roio all'Aquila che è stata restaurata dopo il terremoto del 2009. I dispositivi utilizzati erano di tipologia differente, infatti il dispositivo *Elitech RC-4* misurava solo la temperatura, mentre il dispositivo *Hobo H08-003-02* misurava sia temperatura che umidità relativa. La campagna è stata divisa in due fasi, una preliminare durata sedici giorni ed una definitiva durata ventiquattro giorni, in entrambi i casi il campionamento veniva effettuato ogni 15 minuti. L'utilizzo di questi dispositivi ha permesso agli autori di comprendere che l'assenza di HVAC e le conseguenti fluttuazioni non controllate, potrebbero arrecare danni alle opere.

In letteratura ritroviamo lavori, come quello di *Pioppi, B. et al. (2020)* nei quali i dispositivi utilizzati per il monitoraggio sono stati creati per essere indossabili. Questa metodologia utilizzata nel centro di Gubbio è capace di monitorare undici diversi parametri fisici, tra cui temperatura, umidità relativa ed illuminamento contemporaneamente; essa può essere applicata su caschi e zaini con il fine di monitorare il microclima esterno agevolmente. I dispositivi utilizzati sono stati una

stazione metereologica per confrontare i dati dei dispositivi indoor e outdoor ed un *Tinytag TGP-4500*.

Lo studio intrapreso da *García-D. et al. (2010)* ha esaminato vari punti della cattedrale di Valencia, tra cui la volta restaurata nel 2006, per monitorare la temperatura con un termoresistore e l'umidità relativa con un sensore *HIH-4000*. Per effettuare un monitoraggio più efficace, sono stati realizzati tubi in ceramica contenenti i sensori menzionati. Questi tubi sono stati inseriti in fori praticati nell'intonaco che supportava le opere, posizionati in prossimità dei costoloni della volta e in corrispondenza di alcune opere, permettendo di rilevare la necessità di un monitoraggio continuo e a lungo termine. Le opere, infatti, risultavano compromesse da efflorescenze causate principalmente dalle elevate variazioni di umidità relativa. La campagna preliminare, condotta durante vari mesi del 2007, ha evidenziato gravi problematiche, tra cui la ricomparsa delle efflorescenze in specifici punti dei costoloni, gli stessi che le presentavano già prima del restauro, probabilmente a causa delle infiltrazioni di acqua piovana. In *Ramirez, S. et al. (2021)* gli autori hanno analizzato e aumentato lo studio precedentemente citato, dell'intera campagna durata due anni (2008-2010), implementando delle metodologie ibride per comprendere le condizioni termo-igrometriche all'interno dell'edificio e grazie a queste metodologie comprendere come evitare che le opere mostrino altre forme di degrado.

In *Bonora, A. et al. (2021),* per le simulazioni eseguite all'interno della sala 33 della Reggia di Venaria a Torino, sono stati utilizzati i dati acquisiti in dieci anni di misure dalle sonde *CC&R* (Centro di Conservazione e Restauro).

Negli studi presenti in *Bienvenido-Huertas, D. et al. (2021 - 2022)* gli autori hanno utilizzato due dispositivi *Hobo U12-012* capaci di monitorare, per un anno, sia temperatura che umidità relativa ed una stazione metereologica *Vaisala HMP45D* fornita dall'agenzia metereologica, anch'essa capace di misurare temperatura e umidità.

Per lo studio *Boeri, A. et al. (2022),* durato un anno a partire dal 2018, sono state utilizzate sonde *ASE S.r.l.* (*Advanced Slope Engineering*), sei nell'Aula Magna e due in

Archivio, tutte collegate a due data-logger posizionati all'interno dell'Università di Bologna. Queste sonde sono in grado di rilevare temperatura, umidità relativa, pressione dell'aria, anidride carbonica e illuminamento. Inoltre, registrano i dati che, grazie alla tecnologia wireless, possono essere consultati da diversi dispositivi attraverso una piattaforma dedicata. Le due sale esaminate presentano condizioni differenti, poiché l'Aula Magna è dotata di un impianto HVAC, mentre l'Archivio ne è sprovvisto. L'Archivio custodisce libri e mappe preziose, tra cui la Torah più antica d'Europa; infatti, le uniche persone che possono accedervi sono i dipendenti; a differenza dell'Aula Magna in cui il numero di visitatori è semplicemente contingentato. Confrontando il monitoraggio del microclima delle due sale, gli autori hanno compreso che i manufatti all'interno dell'Archivio sono più protetti di quelli all'interno dell'Aula Magna. Alla fine della campagna al direttore della biblioteca è stato consigliato di limitare ancora di più le visite.

In alcuni casi l'interesse per il controllo preventivo porta gli addetti al settore a progettare dei dispositivi ad hoc (non commerciali) con il quale possano essere monitorati più parametri fisici allo stesso tempo, come ad esempio nello studio di *Spagnuolo, A. et al. (2022)* nel quale sono stati progettati due dispositivi intelligenti grazie al progetto *RE-SEMIRTO*. Questi dispositivi sono stati testati nel Real Sito di Carditello e hanno permesso di acquisire più parametri contemporaneamente tra cui temperatura e umidità relativa. Essi sono dotati inoltre di una microcamera per poter effettuare anche un monitoraggio visivo, comunicano mediante Bluetooth e acquisiscono ogni 50 minuti tutti i parametri utili.

In alcuni casi i dispositivi impiegati nelle campagne vengono progettati appositamente, per monitorare più parametri ed essere meno invasivi, come ad esempio in *Silva, H.E. et al. (2020).* Gli autori hanno utilizzato dei sensori "prototipo" per monitorare il microclima all'interno del Monastero dei Jerònimos di Lisbona in Portogallo, patrimonio culturale mondiale dell'Unesco dal 1983. La campagna è durata quindici mesi ed il campionamento avveniva ogni dieci minuti. I dispositivi erano open source su piattaforma Arduino e per il monitoraggio sono stati utilizzati un

thermistor *PT103J2* da 10k per la temperatura, mentre per l'umidità relativa un sensore capacitivo *SHT31-DIS*. Sono stati installati 13 sensori di temperatura, 9 sensori di umidità relativa e 3 sensori di CO_2. I risultati hanno permesso di ricreare un microclima storico e comprendere che le variazioni presenti all'interno della chiesa non sono pericolose per le opere al suo interno.

Nel lavoro di *Trigona, C. et al. (2023),* lo studio ha monitorato il microclima all'interno di una teca contenente l'opera "Ritratto di Gentiluomo", attribuita a El Greco e custodita presso il Museo Civico di Catania, al Castello Ursino. Il monitoraggio è stato effettuato tramite un dispositivo appositamente progettato e sviluppato presso l'Università di Catania. Il dispositivo nello specifico comprendeva: un sensore di temperatura, un sensore di umidità relativa *HTS221* e trasduttori piezoelettrici; infatti, oltre ad avere delle ottime performance di acquisizione dati mediante wireless ed apposita applicazione, ha la capacità di ricaricare la propria batteria mediante le vibrazioni prodotte dai fruitori che visitano le mostre.

Il sistema di misura si è dimostrato un valido elemento per la conservazione preventiva in luoghi confinati; infatti, è stato migliorato ed implementato in *Trigona, C. et al. (2024).* In quest'ultimo è stato realizzato il monitoraggio del microclima all'interno della Chiesa di Santa Caterina d'Italia sita a Valletta, Malta. Gli autori hanno confrontato due differenti tipologie di dispositivi, quello sviluppato dall'Università di Catania con performance migliorate perché capace di ricaricare la batteria anche grazie al calore, *DCT (*Dispositivo di Catania*)*, ed uno commerciale *D0* che acquisisce anch'esso temperatura e umidità relativa richiedendo però frequenti sostituzioni della batteria di alimentazione. Il campionamento per entrambi i dispositivi è settato ogni dieci minuti e la campagna di monitoraggio presentata per due settimane nella pubblicazione citata, è attualmente in corso (ottobre 2024). Dispositivi di questo genere vengono definiti *eco-friendly*, per via della loro capacità di limitare produzioni di sistemi nocivi per l'ambiente come ad esempio le batterie.

È fondamentale tenere presente che le opere più delicate hanno bisogno di un microclima maggiormente controllato, per questo motivo vengono implementate dove

possibile *le teche*; non sempre queste opzioni però sono del tutto risolutive, soprattutto quando non vengono monitorate con costanza, poiché la mancanza di ricircolo dell'aria, o le elevate fluttuazioni possono aumentare il rischio di danni alle opere. Nei casi studiati in *Camuffo, D. et al. (2000)* le vetrine esaminate sono situate agli Uffizi di Firenze, al Museo Civico di Padova e al *Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich*. I parametri termo-igrometrici temperatura e umidità relativa sono stati misurati mediante termoresistenza *Pt100,* psicrometri elettronici e sensori capacitativi a film sottile (sia all'interno che all'esterno delle vetrine), inquinanti chimici e biologici e intensità luminosa mediante una fotocellula al silicio. Ciò che è risultato preoccupante è che il calore prodotto dagli illuminanti all'interno delle teche risulta troppo elevato per le opere che sono contenute all'interno, poiché il plexiglas utilizzato assorbe radiazioni IR e trasforma la teca in una serra; ciò che diventa importante esaminare sono le combinazioni tra tipologia di materiale e dispositivi utilizzati così da poter studiare dei piani specifici per ogni opera.

In *Camuffo, D. et al. (2024),* gli autori hanno esaminato il comportamento di due diverse tipologie di teche presenti negli Emirati Arabi ad Al Ain, che sono situate nei pressi di un pergolato esterno e proteggono resti di mura di una casa storica.

La prima vetrina, costituita da due lastre spesse, è calpestabile e si trova al centro del pergolato, mentre la seconda, posizionata sul lato del pergolato, è sopraelevata e non calpestabile. Per un monitoraggio adeguato sono stati utilizzati dispositivi conformi alle norme UNI ed EN, in grado di misurare la temperatura, l'umidità relativa interna ed esterna, oltre all'umidità del suolo.

I risultati hanno dimostrato che risulta evidente la pericolosa combinazione delle radiazioni solari non controllate e della condensa che si forma all'interno delle teche, per questo motivo gli autori hanno consigliato una maggiore ventilazione all'interno delle teche, così da moderare le continue variazioni e limitare la condensa.

Di seguito, in *Tabella 3* è possibile visualizzare le caratteristiche dei dispositivi utilizzati nei lavori citati.

Tabella 3 Caratteristiche dei dispositivi presenti nella letteratura trascritta in ordine cronologico.

Dispositivo	*Parametri*	*Range di misura*	*Accuratezza*	*Riferimento bibliografico*
H1-HOBO U12-013	*T [°C]* *RH [%]*	*-20 °C - 70 °C* *5 %- 95 %*	*±0.35 °C* *±2.5 %*	*Silva, H. E. et al. (2014)*
DELTA T RHT2NL		*-20 °C - 80 °C* *0 %- 100 %*	*±0.1 °C* *±2.5 %*	
H2-HOBO U12-013 (H2)		*-20 °C - 70 °C* *5 %- 95 %*	*±0.35 °C* *±2.5 %*	
HOBO U12	*T [°C]* *RH [%]*	*-20 °C - 70 °C* *5 %- 95 %*	*±0.35 °C* *±2.5 %*	*Napp, M. et al. (2015)*
Datalogger fissi	*T [°C]* *RH [%]*	*Non specificato*	*±0.5 °C* *±2 %*	*Sciurpi, F. et al. (2015)*
BOSH BNE280	*T [°C]* *RH [%]*	*-40 °C - 85 °C* *0 % - 100 %*	*±3 %*	*D'Alvia, L. et al. (2016)*
SILICON LAB SI 1445	*Vis [lux]*	*0.1 - 128 kLux*		
CS (trasmissione in 12 ore)	*T [°C]* *RH [%]*	*-40 °C - 60 °C* *0 % - 100 %*	*±0.21 °C* *±0.8 %*	*Sileo, M. et al. (2017)*
LC (trasmissione real-time)		*55 °C - 125 °C* *0 % - 100 %*	*±0.3 °C* *±2 %*	
S-THB-M002 (interno)	*T [°C]* *RH [%]*	*-40 °C - 75 °C* *0 % - 100 %*	*0.21 °C* *±2.5 %*	*Frasca, F. et al. (2017)*
Pro V2 U23-002 (esterno)		*-40 °C - 70 °C* *0 % - 100 %*	*±0.21 °C* *±2.5 %*	
EPISENSOR TES-11/HTS-10	*T [°C]* *RH [%]*	*-20 °C - 60 °C* *11 % - 89 %*	*±0.2 °C* *±3 %*	*Aste, N. et al. (2019)*
HOBO UX100-011		*-20 °C - 70 °C* *0 % - 95 %*	*±0.21 °C* *±2.5 %*	
HOBO U12-011		*-20 °C - 70 °C* *5% - 95 %*	*±0.35 °C* *±2.5 %*	
HOBO UX100-003	*T [°C]* *RH [%]*	*-20 °C - 70 °C* *15 % - 95 %*	*±0.5 °C* *±3.5 % ±5 %*	*Schito, E. et al. (2019)*
ELITECH RC-4	*T [°C]*	*-30.0 °C - 60 °C*	*±0.5 °C*	*De Rubeis, T. et al. (2020)*
HOBO 08-003-02	*T [°C]* *RH [%]*	*-20 °C - 70 °C* *25 % - 95 %*	*±0.7 °C* *±5 %*	
PT103J2	*T [°C]*	*-80 °C - 150 °C*	*±0.2 °C*	*Silva, H.E. et al. (2020)*
SHT31-DIS	*T [°C]* *RH [%]*	*-40 °C - 125 °C* *0 % - 100 %*	*±2 %*	
TINYTAG TGP-4500	*T [°C]* *RH [%]*	*-25 °C - 85 °C* *0% - 100 %*	*±0.5 °C* *±3 %*	
HIH-4000	*RH [%]*	*0 – 100 %*	*±3.5 %*	*García-D. et al. (2010)*

				Ramirez, S. et al. (2021)
HOBO U12-012	*T [°C]*	*-20 °C -70 °C*	*Accuratezza*	*Bienvenido-Huertas, D.et al. (2021 e 2022)*
	RH [%]	*5% - 95 %*	*±0.2 °C e ±1 %*	
Stazione Metereologica VAISALA HMP45D	*T [°C]*	*-20 °C - 60 °C*	*±0.35 °C*	
	RH [%]	*0.8% - 100 %*	*±2.5 %*	
HTS221	*T [°C]*	*-40 °C - +120 °C*	*±0.5 °C*	*Trigona, C. et al. (2023)*
	RH [%]	*0 % – 100 %*	*± 3.5 %*	
DCT	*T [°C]*	*20 °C - 60° C*	*±0.5 °C*	*Trigona, C. et al. (2024)*
	RH [%]	*0 % -99 %*	*±5 %*	
PARKSIDE PKDL-A1 (D0)	*T [°C]*	*-30 °C - 70 °C*	*±0.5 °C*	
	RH [%]	*0 % – 100 %*	*±2.5%*	
Termoresistenza Pt100	*T [°C]*	*-40 °C - 75 °C*	*±0.25 °C - ±0.2 °C*	*Camuffo, D. et al. (2024)*
Capacitivo	*RH [%]*	*0 % - 100 %*	*±0.25 % - ±5 %*	

La realizzazione di una campagna di misurazioni efficace per il monitoraggio di un ambiente è legata anche a fattori economici. Infatti, per condurre un'analisi completa ed esaustiva, è necessario disporre di un numero adeguato di dispositivi in relazione all'area da monitorare., come riportato in *Frasca, F. et al. (2022).*

In *Tabella 4* è riportata una breve ricerca su diverse tipologie di dispositivi commerciali per la misura di temperatura e umidità relativa, in termini di caratteristiche. Una delle distinzioni più importanti da considerare è quella tra dispositivi analogici e digitali, poiché essa permette un'acquisizione dati, più o meno agevole da effettuare.

Tabella 4 Elenco di alcuni dispositivi termo-igrometrici commerciali impiegabili nelle campagne di monitoraggio microclimatico.

Dispositivo	***Parametri***	***Range di misura***	***Accuratezza***
	T [°C]	*-30 °C - 70 °C*	*±0.5 °C*
	RH [%]	*0 % - 100 %*	*±2.5 %*
	Analogico		
PARKSIDE - PKDL A1			

HANDHELD - ST6817	*T [°C]* *RH [%]* *Analogico*	*-20.0 ° C - 60.0 °C* *0.0 % - 99.9 %*	*±3.0 %*
SW-572	*T [°C]* *RH [%]* *Analogico*	*-20.0 ° C - 60,0 ° C* *0.0 % - 100 %*	*±0.3 ° C* *±3 %*
MENGSHEN	*T [°C]* *RH [%]* *Analogico*	*-20 °C - 80 ° C* *0 % - 100 %*	*±0.5 ° C* *0.01 %*
XIAOMI	*T [°C]* *RH [%]* *Digitale*	*0 °C – 60 °C* *0 % – 99 %*	*0.1 °C* *0.1 %*
LEVIPE	*T [°C]* *RH [%]* *Digitale*	*-10°C - 50 °C (interna)* *-40 °C - 60 °C (esterna)* *1 % - 99 %*	*±1 °C/±1.5 °C* *5 % - 8 %*
COMBOSS	*T [°C]* *RH [%]* *Digitale*	*-20 °C - 60 °C* *0 % – 100 %*	*±1 °C* *±5 %*
X-SENSE	*T [°C]* *RH [%]* *Digitale*	*-20 - 60 °C* *0 % - 100%*	*±0.2 °C* *±2 %*

Strumenti per la misura dell'illuminamento e UV

Una valutazione accurata dell'ambiente in cui sono conservate le opere d'arte include il monitoraggio dell'illuminamento, che viene analizzato e selezionato tenendo conto di diversi fattori, come la natura dei materiali impiegati, il tipo di colori, gli agenti utilizzati nella loro realizzazione e la loro tolleranza alla luce. Ciascuno di questi elementi può infatti influenzare i cambiamenti a cui un'opera può andare incontro. Sebbene usata per valorizzare un'opera ed evidenziarne i particolari più importanti, la luce naturale ed artificiale può essere allo stesso tempo "*croce e delizia*" per un'opera d'arte, poiché può apportare danni permanenti se non gestita con cura. I dispositivi utilizzati per poter monitorare il suo comportamento risultano essenziali per garantirne la conservazione. Anche in questo caso, vengono a sostegno degli addetti del settore le norme *UNI* ed *EN* citate nel capitolo precedente, poiché in quanto elemento degradante, queste ultime forniscono dei range di valori da rispettare per il benessere delle opere.

Le radiazioni ottiche vengono classificate in tre sottocategorie, riprodotte anche in *Figura 1*, differenziate da vari fattori, tra cui la lunghezza d'onda, e le fonti di emissione:

- ***Radiazioni Infrarosse (IR),*** *da 1 mm a 780 nm*, sono le radiazioni associata al calore, emesse dal sole dal corpo umano e da dispositivi elettronici che utilizziamo tutti i giorni. Esse possono e causare un aumento di temperatura;
- ***Luce Visibile (VIS),*** *da 780 nm a 380 nm*, sono la porzione di spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano. Emessa dal sole, dalle candele o da lampade elettriche, mediante vari processi;
- ***Radiazioni Ultraviolette (UV),*** *da 380 nm a 10 nm,* sono le radiazioni più dannose per l'essere umano, emesse dal sole ma anche da lampade artificiali utilizzate per differenti applicazioni. Esse possono causare danni agli occhi, scottature ecc. ed hanno un'ulteriore distinzione: **UVA** (*da 315 nm a 400 nm*), **UVB** (da *280 nm a 315 nm*), **UVC** (*da 280 nm a 100 nm*).

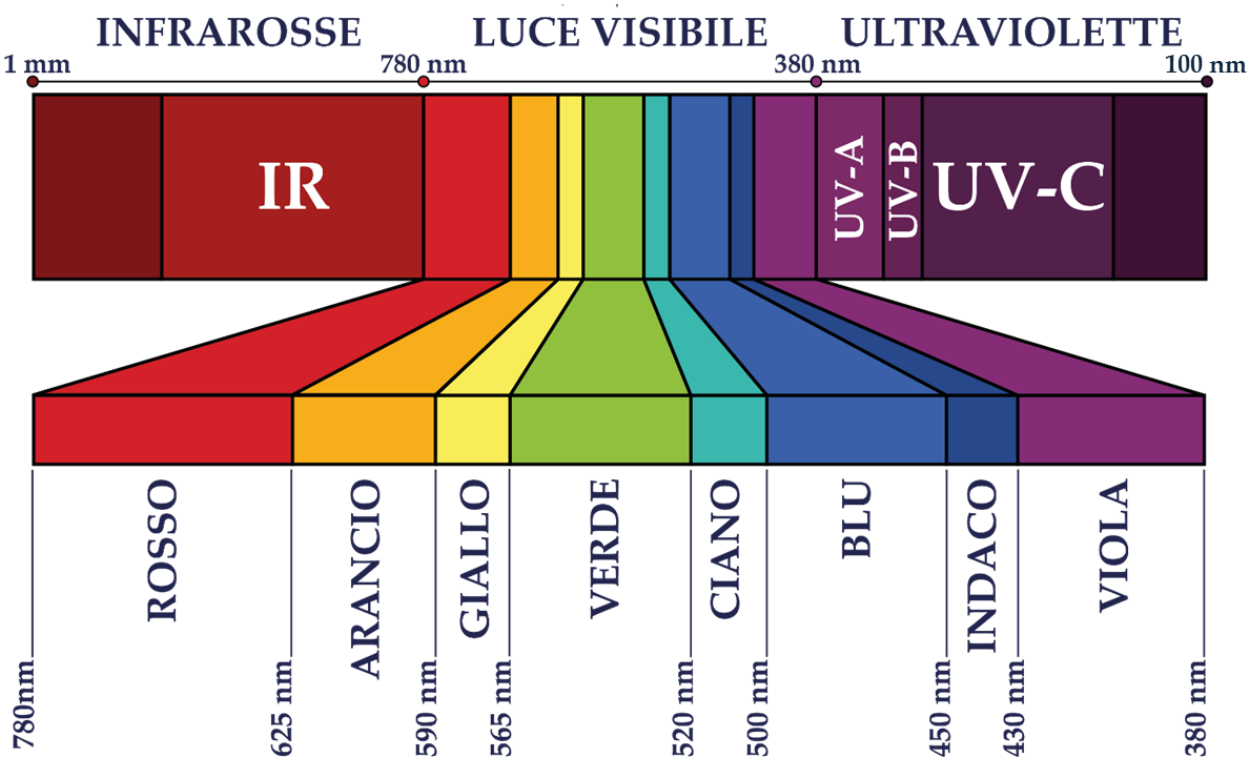
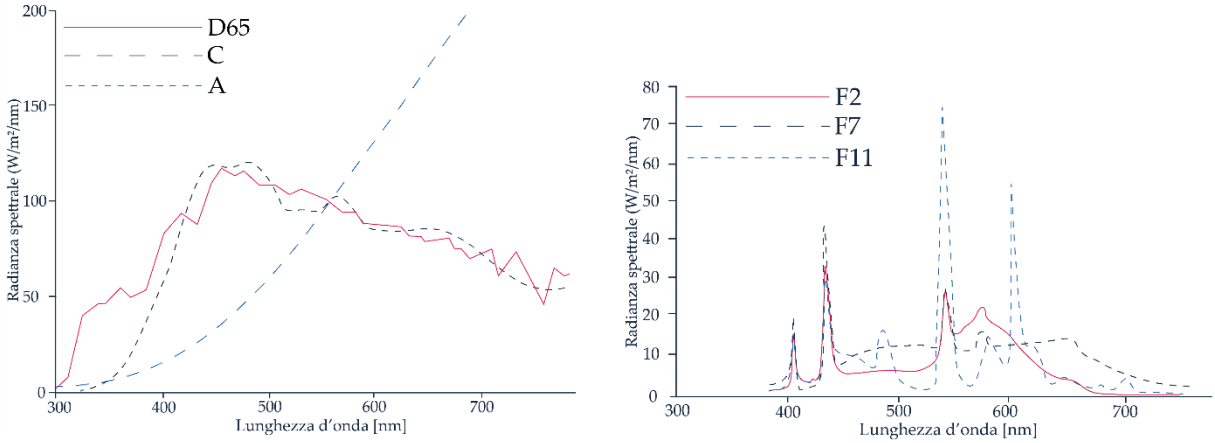


Figura 1 Radiazioni elettromagnetiche con distinzione di lunghezza d'onda tra Infrarosse, Visibile e Ultraviolette (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

La distinzione sostanziale che caratterizza le diverse indagini è quella tra:

- ***Sorgente luminosa,*** oggetto che emette luce, che può essere artificiale, come una lampadina, o naturale, come il sole;
- ***Illuminante,*** modello teorico che standardizza e caratterizza la luce in termini di distribuzione spettrale, come il D65, F2, ecc.

La caratterizzazione delle sorgenti luminose che ricreano diverse tipologie di illuminamento è fondamentale per comprendere quale è bene utilizzare difronte a determinate circostanze, poiché essa può variare la percezione visiva, il degrado che arreca alle opere e a coloro che ne vengono a contatto. La *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) riconosce degli standard specifici per gli illuminanti, rappresentati in *Figura* 2a e 2b.



(a) *(b)*

Figura 2 Spettri di emissione degli illuminanti standard secondo la CIE.

Nello specifico gli spettri riportati rappresentano gli illuminanti:

- ***D65***, che fa riferimento alla luce solare diurna comprese le radiazioni ultraviolette;
- ***C,*** che fa riferimento alla luce diurna escluse le radiazioni ultraviolette;
- ***A,*** che fa riferimento alle lampade a incandescenza;
- ***F,*** che fa riferimento ai tubi fluorescenti.

L'indagine svolta da *del Hoyo-Meléndez, J.M. et al. (2011)* ha analizzato i livelli di luce al *Donald W. Reynolds Center for American Art and Portraiture di Washington DC*, che non essendo progettato per ospitare opere d'arte presenta molte finestre e porte dalle quali entra luce. Il setup di misura era formato da ventiquattro dispositivi *ELSEC 764C* che hanno misurato radiazione UVA e luce visibile, divisi rispettivamente in: quattro al primo piano, dodici al secondo e otto al terzo. Il monitoraggio effettuato per un anno è stato campionato ogni dieci minuti, trasferito mediante adattatore wireless *USB2IR* e acquisito mediante *RView 3.8 Loggers*. I risultati ottenuti mostrano che le quantità di lux variano anche in base a quale piano sono stati collocati i dispositivi. In ogni caso i dati, anche in termini di radiazioni ultraviolette, non superano le linee guida presenti nelle norme.

In *Al-Sallal K.A. et al. (2011)* gli autori hanno analizzato un edificio come caso studio scelto per via delle aperture che presentava. Infatti, vengono identificate le quattro tipologie di aperture che possono essere presenti in edifici di quel genere degli Emirati

Arabi: *dreesheh* (le finestre che presentano due ante); *mesbah* (finestra forata nel muro); *barjeel* (torre che funge da lucernario e da ricircolo dell'aria); *masgat* (estrattore d'aria, utilizzata sia per il ricircolo dell'aria che per la luce che lascia entrare). Per la campagna sono stati utilizzati un esposimetro che immagazzina dati *TES1336*, un illuminometro *Konica Minolta LS-110* ed una *Kodak Grey Card.* Secondo il manuale di illuminazione IESNA *Illuminating Engineering Society of North America*, a cui fanno riferimento gli autori, i limiti annuali per i manufatti sensibili sono di 50.000 lx h/anno, mentre per i materiali moderatamente sensibili sono di 480.000 lx h/anno. I risultati tra le misure reali e le simulazioni effettuate con *Desktop Radiance 2.0 Beta (DR)*, variano del ±4%. Ciò che ha preoccupato di più è il risultato della luce diretta sia per le opere sensibili che per quelle meno sensibili, poiché il risultato era di 2600lx quando il massimo è di 200 lx, questa esposizione provocherà certamente dei danni irreversibili ai manufatti. Gli autori hanno infatti dato dei suggerimenti utili per evitare che questo avvenga, chiudere le persiane nelle ore mattutine, adottare sistemi di ombreggiatura come elementi paesaggistici autoctoni, filtrare e distribuire uniformemente l'illuminamento, pianificare l'arredamento espositivo affinché esso non abbia parti riflettenti e non venga posizionato dove arriva luce diretta.

In *De Graaf T. et al. (2014)* lo studio ha analizzato una stanza di un museo in Germania che viene illuminata naturalmente attraverso un lucernario, ed artificialmente durante le ore più buie. Questo comporta che le opere vengono esposte alla luce solare anche quando il museo è chiuso al pubblico. Sono stati analizzati cinque scenari possibili di esposizione alla luce naturale ed artificiale, in due mesi di misure. I due dispositivi impiegati per la campagna sono un luxmetro posizionato all'esterno del museo per misurare illuminazione esterna e poterla confrontare con la dose che raggiunge l'interno, ed uno posizionato all'interno per misurare le radiazioni della stanza secondo gli standard *CIE 157:2004*. Sono state inoltre effettuate simulazioni mediante un modello 3D molto dettagliato realizzato con *DIAlux*, per simulare i dati che gli autori non erano stati in grado di acquisire e sulla base delle simulazioni sono state generate le differenze tra interno ed esterno. Ciò che è essenziale sapere, è che a

determinare l'accensione dell'illuminazione artificiale è il parere soggettivo del personale del museo. I risultati mettono in evidenza che l'esposizione degli oggetti alla luce è eccessiva, sia su base mensile che annuale, ciò causa un invecchiamento precoce delle opere esposte all'interno del museo, di conseguenza per un controllo preciso e adeguato sono necessari sistemi automatici di oscuramento che allo stesso tempo aiuteranno a diminuire il consumo di energia.

Nel lavoro eseguito in *Farke, M. et al. (2016)* lo studio, ha esaminato in quattro differenti configurazioni, il degrado che un'eccessiva illuminazione può arrecare ad un'opera. Gli autori hanno utilizzato quattro cabine ricreate appositamente come fossero teche museali, ognuna delle quali aveva un diverso spettro luminoso, (i) tubi fluorescenti dietro una lastra che diffondeva la luce; (ii) una luce alogena focalizzata con lenti a fibre ottiche; (iii) lampade ad alogenuri metallici a bassa tensione; (iv) LED focalizzati con lenti ottiche semisferiche. Le sorgenti luminose sono state utilizzate alla massima potenza, così da comprenderne il massimo degrado causato. Ogni tipologia di campione (seta, cotone e lana) è stato realizzato in cinque esemplari, quattro usati nelle cabine ed uno mantenuto al buio come standard da confrontare, colorati con coloranti naturali (zafferano e cocciniglia), per 30 minuti a 40 °C. Altri campioni sono stati creati in carta e segnati con pennarelli Edding. I set di misura erano sei ore di luce e dodici di buio, con un microclima controllato di 23 °C e 50% ottenuto grazie ad un'unita *Hahn RK-2*, per un totale di 240 h/mese di illuminazione, per un totale di cinque mesi. Per lo studio sono stati impiegati: una fibra ottica a singolo filamento *Vis-Nir, 0.22*, di 300 μm di diametro e 5m di lunghezza; uno spettrometro *USB2000 UV-VIS,* che opera tra i 200 – 850 nm posizionato a distanza di 100 mm; un rivelatore di intensità luminosa *Mini-Lux,* per normalizzare gli spettri delle sorgenti registrate con un data-logger *Hobo U12,* compresi tra i 10 ed i 32300 lux; uno spettrofotometro *SPM 100*, che opera tra 380-780 nm e permette di misurare un diametro di 3 mm calibrato con uno *standard bianco di* $BaSO_4$ per comprendere le variazioni di colore dei materiali. Il setup corrispondente a danni maggiori è stato quello in cui sono stati utilizzati dei tubi fluorescenti, mentre non si è ben definito quale sia la migliore soluzione tra le altre utilizzate quando

secondo la guida *CIE 157:2004* avrebbero dovuto essere i LED. In definitiva lo studio deve essere ampliato ed effettuato in sito, così da considerare tutte le parti coinvolte nel degrado di un'opera d'arte.

Per lo studio effettuato in *Kaya, S. M. et al. (2018),* gli autori hanno prodotto un questionario che facesse comprendere quanto i visitatori, nello specifico cento individui, fossero soddisfatti delle condizioni luminose naturali all'interno di un museo d'arte a Instanbul, in Turchia; inoltre, è stata realizzata una simulazione mediante l'utilizzo di *Max 2014 di Autodesk 3D*, volta a comprendere il confort dei fruitori in base all'ora in cui andavano a visitare il museo. Sono state rappresentate diciotto posizioni degli esposimetri e l'unica fonte di illuminamento era la luce solare diurna che proveniva dalle aperture presenti nel museo. Ciò che lo studio mette in evidenza è l'importanza della posizione dell'edificio e degli oggetti al suo interno, in quanto sono state registrate variazioni non indifferenti tra un esposimetro e l'altro durante la medesima misura, ad esempio si passa da un 1097.91 lx del P2 alle 10 del mattino, ad uno 0.43 lx del P6 alla stessa ora, tutto ciò spiegato dal fatto che il P2 è posizionato nei pressi di finestre e non ha pareti che lo proteggano dall'esposizione diretta al sole, mentre P3 la luce viene smorzata tanto da non essere quasi percettibile. Da non sottovalutare è la possibilità che si venga a creare un abbagliamento dovuto all'apertura delle finestre, gli autori di fatto consigliano di attuare adeguate strategie di prevenzione e protezione.

Lo studio eseguito in *Tan, H. et al. (2022)* si è concentrato su tre aspetti importanti, cioè la riduzione dell'illuminamento che deteriora le opere, la qualità dell'illuminamento che sta a contatto con le opere ed infine il risparmio energetico che può essere attuato con un controllo mirato dell'illuminamento.

La porzione dello spettro che causa maggior danno alle opere d'arte è la radiazione ultravioletta, per la quale è stato stabilito un limite di tolleranza. Oggi molte sorgenti luminose dichiarano di eliminare quasi completamente la radiazione UV; infatti, nei musei e nei luoghi dedicati all'arte, vengono spesso utilizzati i LED, poiché presentano un contenuto di UV molto ridotto.

Nella *Tabella 5* sono riportate le caratteristiche dei dispositivi impiegati nelle campagne di misura citate, mentre nella *Tabella 6* è riportato un gruppo di dispositivi utilizzabili nelle campagne di misure microclimatiche nei beni culturali.

Tabella 5 Caratteristiche dei rilevatori per le sorgenti luminose trascritte in ordine cronologico.

Dispositivo	*Parametri*	*Range di misura*	*Accuratezza*	*Riferimento bibliografico*
USB2IR	*Vis [lux]* *UVA*	0.1 – 200000 Vis 300 - 400 nm UV	±5 % *±15 %*	del Hoyo-Meléndez, J.M. et al. (2011)
Esposimetro TES1336	*Vis [lux]*	*20 - 20000 lx*	±3 %	Al-Sallal K.A. et al. (2011)
Illuminometro KONICA MINOLTA LS-110	*Vis [lux]*	*0.001 – 299900 cd/m²*	±2 %	
Spettrometro USB2000 UV-VIS	*Vis [lux]* *UVA - UVB*	*200 - 1100 nm*	*<0.05 % a 600 nm* *<0.10 % a 435 nm*	Farke, M. et al. (2016)
Rivelatore d'intensità MINI-LUX		*Non specificato*		
Data-logger HOBO U12	*T [°C]* *RH [%]*	*-20 °C - 70 °C* *5 % - 95 %*	*± 0.35 °C* *± 2.5 %*	

Tabella 6 Elenco di alcuni illuminometri ed UV-meter commerciali impiegabili nelle campagne di monitoraggio microclimatico.

Dispositivo	*Parametri*	*Range di misura / acquisizione*	*Accuratezza*
YIWENG	*Vis [lux]*	*1-200000 Lux*	*±4 % (< 10.000 Lux)* *±5 % (>10.000 Lux)*
AKOZON	*Vis [lux]*	*0.1 – 200000 Lux*	*±2 %*

SHANG-JUN

Vis [lux] | *0 – 200000 Lux* | *±3 %*

NALORA

Vis [lux] | *0 - 200000 Lux* | *±3 %*

NALORA

Vis [lux] | *0.01 – 200000 Lux* | *±3 % (<10000LUX)* *±4 % (>10000LUX)*

VENYAA

UV A e B [w/cm²] | *290 - 390 nm* | *±4 %*

GENERAL

UV A e B [w/cm²] | *280 - 400 nm* | *±4 %*

RGM-UVI

UV A e B [w/cm²] | *280 - 400 nm* | *±10 %*

LS126A - AGING

UV A e B [w/cm²] | *340 nm - 420 nm* | *±10 %*

SOLARMETER 5.7	*UV A e B [w/cm²]*	*280 - 400nm*	*±10 %*

Bibliografia Capitolo 2 – I dispositivi per la misura dei parametri fisici

- Al-Sallal, K A., et al. "Indigenous buildings' use as museums: Evaluation of day-lit spaces with the Dreesheh double panel window." Sustainable Cities and Society 1.2 (2011): 116-124.
- Aste, N., et al. "Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage." Building and Environment 148 (2019): 240-257.
- ASE S.r.l. - Advanced Slope Engineering (aseltd.eu) (consultato il 6 Maggio 2024).
- Bienvenido-Huertas, D., et al. "Analysis of climate change impact on the preservation of heritage elements in historic buildings with a deficient indoor microclimate in warm regions." Building and Environment 200 (2021): 107959.
- Bienvenido-Huertas, D., et al. "Influence of special report on emissions scenarios and the representative concentration pathways scenarios on the preservation of churches with a deficient microclimate." Journal of Building Engineering 62 (2022): 105349.
- Boeri, A., et al. "Library Indoor microclimate monitoring with and without heating system. A bologna university library case study." Journal of Cultural Heritage 53 (2022): 143-153.
- Bonora, A., et al. "Historic Indoor Microclimate, the role of HVAC in heritage buildings' restoration: The case of the Palace of Venaria Reale." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2069. No. 1. IOP Publishing, (2021).
- Campobello, G., et al. "IoT-MHECHA: A new IoT architecture for Monitoring Health and Environmental parameters in Cultural Heritage and Archaeological sites." 2020 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage. International Measurement Confederation (IMEKO), 2020.
- Camuffo, D., et al. "Showcases: a really effective mean for protecting artworks? " Thermochimica acta 365.1-2 (2000): 65-77.
- Camuffo, D., et al. "Microclimate Analysis of Outdoor Showcases in Tropical Climate—Two Case Studies in Al Ain, Abu Dhabi, United Arab Emirates." Climate 12.1 (2024): 6.
- CIE 157–2004. Commission Internationale de L'Eclairage, technical report, control of damage to museum objects by optical radiation, Vienna.
- D'Alvia, L., et al. "Development of wireless sensor network for museum environmental monitoring." Proceedings of the IMEKO International Conference on Metrology for Archeology and Cultural Heritage, Torino, Italy. (2016).
- De Graaf, T., et al. "Sustainable lighting of museum buildings." Renewable Energy 67 (2014): 30-34.
- del Hoyo-Meléndez, J. M., et al. "An evaluation of daylight distribution as an initial preventive conservation measure at two Smithsonian Institution Museums, Washington DC, USA." Journal of Cultural Heritage 12.1 (2011): 54-64.
- de Rubeis, T., et al. "The restoration of severely damaged churches–Implications and opportunities on cultural heritage conservation, thermal comfort and energy efficiency." Journal of Cultural Heritage 43 (2020): 186-203.
- Devalal, S., et al. "LoRa technology-an overview." 2018 second international conference on electronics, communication and aerospace technology (ICECA). IEEE, 2018.
- Farke, M., et al. "Light damage to selected organic materials in display cases: A study of different light sources." Studies in Conservation 61.sup1 (2016): 83-93.
- Frasca, F., et al. "Assessment of indoor climate of Mogiła Abbey in Kraków (Poland) and the application of the analogues method to predict microclimate indoor conditions." Environmental Science and Pollution Research 24 (2017): 13895-13907.
- Frasca, F., et al. "Strategies for the deployment of microclimate sensors in spaces housing collections." Heritage Science 10.1 (2022): 200.

- García-Diego, F.J., et al. "Microclimate monitoring by multivariate statistical control: The renaissance frescoes of the Cathedral of Valencia (Spain)." Journal of cultural heritage 11.3 (2010): 339-344.
- Kaya, S. M., et al. "Effects of daylight design features on visitors' satisfaction of museums." Indoor and Built Environment 27.10 (2018): 1341-1356.
- IEC 60050 - Vocabolario elettrotecnico internazionale(electropedia.org) (consultato il 4 ottobre 2024).
- Laghari, A. A., et al. "A review and state of art of Internet of Things (IoT)." Archives of Computational Methods in Engineering (2021): 1-19.
- Maksimović, M., et al. "Preservation of cultural heritage sites using IoT." 2019 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH). IEEE, 2019.
- Manuale dispositivo - Parkside PKDL A1 (lidl.it) (consultato il 30/09/2024).
- Moretti, E., et al. "Microclimatic monitoring for book heritage preservation in historic buildings: preliminary investigation on "Sala del Dottorato" in Palazzo Murena, Perugia, Italy." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 949. No. 1. IOP Publishing, (2020).
- Napp, M., et al. "Energy use and indoor climate of conservation heating, dehumidification and adaptive ventilation for the climate control of a mediaeval church in a cold climate." Energy and Buildings 108 (2015): 61-71.
- Pioppi, B., et al. "Cultural heritage microclimate change: Human-centric approach to experimentally investigate intra-urban overheating and numerically assess foreseen future scenarios impact." Science of the Total Environment 703 (2020): 134448.
- Ramírez, S., et al. "A methodology for discriminant time series analysis applied to microclimate monitoring of fresco paintings." Sensors 21.2 (2021): 436.
- Ramya, C. M., et al. "Study on ZigBee technology." 2011 3rd international conference on electronics computer technology. Vol. 6. IEEE, 2011.
- Sciurpi, F., et al. "Environmental monitoring and microclimatic control strategies in "La Specola" museum of Florence." Energy and Buildings 95 (2015): 190-201.
- Schito, E., et al. "A procedure for identifying chemical and biological risks for books in historic libraries based on microclimate analysis." Journal of Cultural Heritage 37 (2019): 155-165.
- Sileo, M., et al. "Low-cost monitoring approach for the conservation of frescoes: The crypt of St. Francesco d'Assisi in Irsina (Basilicata, Southern Italy)." Journal of Cultural Heritage 23 (2017): 89-99.
- Silva, H. E., et al. "Microclimatic analysis of historic buildings: A new methodology for temperate climates." Building and Environment 82 (2014): 381-387.
- Silva, H. E., et al. "Climate monitoring in World Heritage List buildings with low-cost data loggers: The case of the Jerónimos Monastery in Lisbon (Portugal)." Journal of Building Engineering 28 (2020): 101029.
- Spagnuolo, A., et al. "RE-SEMIRTO project: An innovative network of wireless sensors for microclimate monitoring on the Royal Palace of Carditello." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2204. No. 1. IOP Publishing, 2022.
- Tan, H., et al. "Review of lighting deterioration, lighting quality, and lighting energy saving for paintings in museums." Building and Environment 208 (2022): 108608.
- Trigona, C, et al. "Structural Holding Monitoring and Microclimate Measurements in Museum Showcases." 2023 20th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD). IEEE, 2023.
- Trigona, C, et al. "St. Catherine's Church, Valletta, Malta: A Self-Powered Measurement System for Preventive Conservation." 2024 21st International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD). IEEE, 2024.

Capitolo 3 – Dispositivi innovativi per il monitoraggio

La tecnologia dei sensori[1] fa passi da gigante ogni giorno con dispositivi elettronici sempre più sofisticati, in grado di monitorare una vasta gamma di parametri ambientali. Tuttavia, la natura ci offre un'alternativa affascinante: le piante, che possiedono l'intrinseca capacità di rilevamento e risposta ai cambiamenti dell'ambiente circostante. La principale caratteristica che differenzia i due approcci è che per realizzare e poi smaltire i dispositivi elettronici si produce una quantità di CO_2 che alimenta l'inquinamento del nostro pianeta, al contrario della produzione e dello smaltimento delle piante. Durante la loro vita le piante anzi, riducono la quantità di CO_2. Sfruttando a nostro vantaggio i principi di funzionamento e le potenzialità delle piante è possibile ottenere sensori *eco-friendly* in modo da poter essere utilizzati in luoghi chiusi e controllati.

Sensori alternativi

Le capacità naturali di sensing delle piante sono ben note e sono state oggetto di studi scientifici per oltre un secolo. Alcune delle caratteristiche intrinseche delle piante sono state portate alla luce già nel 1873, quando in *Burdon-Sanderson, J. S. (1873)* vennero pubblicate le osservazioni sulla *Dionaea muscipula*, comunemente conosciuta come "Venere acchiappamosche", appartenente alla famiglia delle *Droseracee* in *Figura 3a*. Questa pianta carnivora è capace di eseguire movimenti rapidi di chiusura dei suoi *lembi fogliari* quando questi vengono stimolati. L'autore descrisse come la *D. muscipula* percepisce il contatto meccanico con le potenziali prede, normalmente insetti. La pianta possiede *tricomi* sensoriali (piccoli peli), illustrati in *Figura 3b* sulla superficie interna dei suoi lembi, quando uno di questi peli viene toccato due volte in rapida successione, o due peli vengono toccati quasi simultaneamente, si innesca una risposta elettrica nella pianta. Essa provoca un cambiamento nella turgidità delle cellule,

[1] Dal dizionario Treccani: un sensore è un dispositivo in grado di rilevare una grandezza interagendo con essa: l'energia ricevuta dal sensore modifica lo stato della grandezza variando una delle sue proprietà (lunghezza, resistenza elettrica e così via).

portando alla rapida chiusura dei lembi fogliari e intrappolando l'intruso. Questo meccanismo di chiusura è un esempio di come le piante possano rispondere a stimoli esterni con movimenti rapidi. Burdon-Sanderson fu uno dei primi a suggerire che le piante potessero avere una sorta di sistema nervoso primitivo, capace di trasmettere segnali elettrici. In sintesi, il suo lavoro rappresenta uno dei primi studi scientifici che hanno rivelato le complesse capacità sensoriali delle piante.

Figura 3a Esemplare di D. muscipula (dal sito Bing).

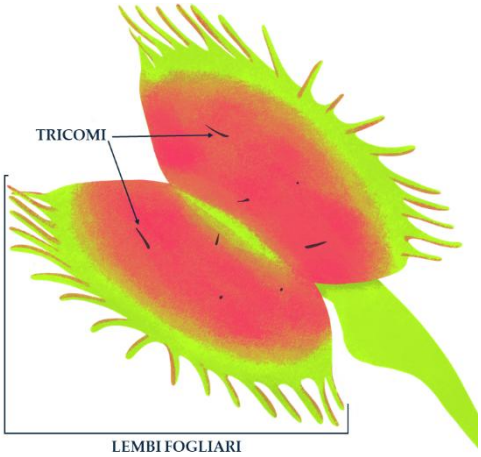


Figura 3b Illustrazione della D. muscipula (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Una delle risposte alla sensibilità delle piante, sono i tropismi[2], che risultano essere caratteristici di alcune specie di piante. Anche Charles Darwin si era reso conto di queste caratteristiche e dedicò parte della sua ricerca a esplorare come le piante percepiscono e rispondono agli stimoli ambientali. Ad esempio, nel lavoro *Darwin, C. et al. (1883),* gli autori si proponevano di esplorare le diverse tipologie di movimento che le piante potevano eseguire e di conseguenza capirne i meccanismi di funzionamento. Sono stati studiati i movimenti circadiani come il fototropismo e la conseguente apertura/chiusura di fiori e foglie, i movimenti rapidi dovuti alla sensibilità tattile di alcune parti delle piante, etc. Stabilendo le risposte ai vari stimoli

[2] Dal dizionario Treccani: movimento orientato di un organismo, animale o vegetale, o di una sua parte, determinato dall'azione di uno stimolo esterno (luce, temperatura, umidità, gravità, fattori chimici, ecc.); a seconda che il movimento sia orientato verso la sorgente dello stimolo o in direzione opposta.

ambientali e la dinamicità di questi organismi; l'opera che può essere considerata pioneristica ha dato modo di esplorare l'argomento nella sua totalità.

Sono tante le ricerche successive che hanno dimostrato che le capacità di percezione e risposta delle piante non si limitano alla luce; infatti, le risposte elettriche agli stimoli esterni, che le piante restituiscono possono essere di due tipologie come specificato in *Fromm, J. et al. (2007)*:

- ***potenziali d'azione (AP),*** che solitamente sono una risposta rapida sono per lo più "tutto o niente" e si propagano lungo tutta la membrana attraverso i canali ionici Na^+ e K^+, causati da danni meccanici;
- ***potenziali di variazione* (*VP*),** rappresentano una risposta più lenta che può variare la sua ampiezza e possono coinvolgere diversi ioni come Ca^{2+} e Cl^-, e sono normalmente associati a danni prolungati come la siccità. Essi possono variare in base all'intensità dello stimolo che li genera.

Nel lavoro di *Volkov A.G. et al. (2010)* questa reazione si sviluppa in tre fasi: *percezione, trasmissione e risposta*. Quest'ultima può essere meccanica, elettrica o biochimica, e viene analizzata nella *Mimosa pudica L* in *Figura 4a*, esemplare che appartiene alla famiglia delle *Fabacee.* Le misure sono state eseguite a 21° C in una gabbia di Faraday stabilizzata dalle vibrazioni, mediante elettrodi in Ag/AgCl rivestiti in teflon e come controprova sono stati impiegati anche degli elettrodi in platino, anch'essi rivestiti in teflon, che hanno restituito la medesima risposta. Dopo l'inserimento degli elettrodi le foglie si sono chiuse a causa dell'impulso tattile e per questo motivo le misure sono state effettuate dalle 3 alle 25 ore dopo l'inserimento, quando si erano nuovamente aperte. Gli esemplari di *Mimosa pudica L* utilizzati sono stati coltivati con fotoperiodo di 12:12 (vale a dire 12 ore di luce e 12 ore di buio), e dopo due settimane travasate per poi essere analizzate circa 2-3 mesi dopo la coltivazione e irraggiati con una densità di flusso pari a 700-800 μmol di fotoni m^{-2} s^{-1}. Per studiare il comportamento degli esemplari, sono stati utilizzati un videoregistratore ed una fotocamera, osservando così la durata della chiusura delle foglie (circa 4-5s) e della riapertura (600s). La chiusura delle *pinnule* può essere stimolata elettricamente anche con bassi voltaggi di

1.5 V, ma la risposta diventa dai 0.5 s ai 0.7 s più lenta. Questo studio non invasivo ha dato modo di comprendere che la *Mimosa pudica L* restituisce una risposta più lenta della *D. muscipula* di un ordine di grandezza.

In alcuni casi le piante possiedono la capacità di percepire la luce attraverso specifici meccanismi sensoriali e la sfruttano come segnale per regolare una serie di processi fisiologici e comportamentali, tra cui la fotosintesi, la germinazione, la crescita, la fioritura e la direzione della crescita. Le piante percepiscono le variazioni delle grandezze fisiche in modi diversi, adattandosi alle condizioni ambientali per ottimizzare crescita e sopravvivenza. *Wang, Q. et al. (2021)*, hanno studiato le piante per una comprensione più profonda della loro biologia e delle loro straordinarie capacità di adattamento e interazione con l'ambiente. In *Lobo M.A. et al. (2023)* lo studio si è basato sulla risposta elettrica della *Mimosa pudica L* mediante elettrodi in argento ricoperti da un gel conduttivo attraverso una metodologia non invasiva, uno posizionato sopra il *pulvino* (base della foglia mostrato in *Figura 4b*) ed uno inserito nel terreno, entrambi collegati ad un amplificatore.

Figura 4a Esemplare di M. pudica L (dal sito Bing).

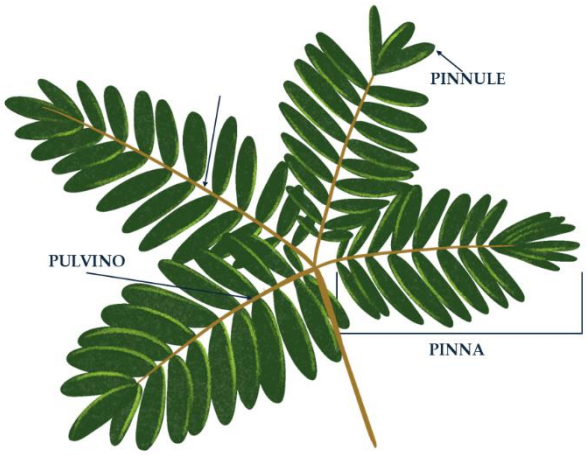


Figura 4b Illustrazione della M. pudica L (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Sono stati utilizzati, un sensore per la temperatura e uno per l'umidità relativa, un misuratore di tensione ed una DAQ collegati ad un pc. Per isolare il sistema le misurazioni per l'acquisizione dei dati sono state realizzate utilizzando un apposito contenitore. La frequenza di acquisizione per la raccolta dati è stata settata a 2 Hz

tranne per il sensore di umidità relativa che era settato a 1 Hz. Le misure sono state interamente realizzate all'interno di una stanza non climatizzata a fine novembre per cinque giorni a Coimbra, in Portogallo. I risultati hanno evidenziato che le variazioni del potenziale di variazione (VP) sono legate alle variazioni di temperatura; infatti, per una differenza di circa 0.5 °C, la variazione del potenziale è stata di circa 7.5 mV. È da notare che le risposte ottenute non sono state immediate, bensì è stato osservato un ritardo nella risposta elettrica del sistema.

In *Trigona, C. et al. (2021)* gli autori hanno effettuato uno studio sulle proprietà di sensing alla radiazione UV-A della *Dimorphotheca ecklonis* in *Figura 5a*, pianta sempre verde originaria del sud Africa appartenente alla famiglia della *Asteraceae*, rappresentazione grafica in *Figura 5b*. Il setup era composto da due sorgenti UV-A da 20 cm di diametro e 22W di potenza (poste con un angolo di 45°), due contatti elettrici che fungono da anodo e catodo, un oscilloscopio per visualizzare in tempo reale i risultati, una DAQ collegata ad un pc per l'acquisizione mediante Lab VIEW™ e la successiva elaborazione con Matlab®. Le misure sono state divise in due fasi, la prima fase è servita a caratterizzare le sorgenti a diverse distanze, nella seconda fase è stata analizzata la risposta della pianta in funzione all'assorbimento di energia. Variando la distanza tra la pianta e le sorgenti UV, gli autori hanno compreso che, quando aumentava la distanza e diminuiva l'irraggiamento, il segnale della pianta variava proporzionalmente.

Figura 5a Esemplare di Dimorphotheca ecklonis (dal sito Bing).

Figura 5b Illustrazione della Dimorphotheca ecklonis (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Per una tensione di 0,463 V, la variazione massima registrata è di circa 14 mV, considerando quattro ore di misure. Questo studio è stato utile per comprendere le proprietà della pianta, indicando la necessità di ulteriori indagini per caratterizzarla e individuare eventuali influenze e comprendere l'effetto di eventuali interferenze.

La *Sansevieria Cylindrica* per misure di illuminamento e radiazione UV

Nell'ambito dello scenario descritto in quanto esseri viventi e sensibili le piante sono state definite "*living sensors*®", per riferirsi appunto a tutte quelle piante che sono capaci di percepire una grandezza fisica d'interesse senza essere influenzate dalle eventuali variazioni di altre grandezze. Le potenzialità delle piante hanno aperto le porte a una serie di campagne di misure realizzate negli ultimi tre anni anche su esemplari di *Dracena angolensis* o *Sansevieria Cylindrica,* rappresentata graficamente in *Figura 6*, facente parte alla famiglia delle *Asparagaceae.*

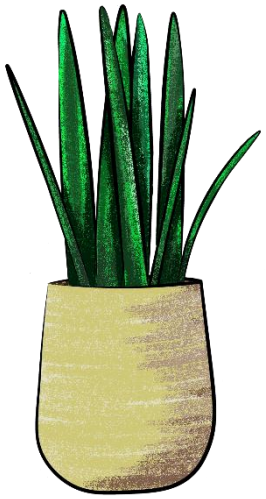


Figura 6 Rappresentazione grafica della Sansevieria Cylindrica
(immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Tutte le campagne di misura sono state svolte per avere una comprensione sempre più profonda delle caratteristiche sensoriali delle piante e dei meccanismi di trasduzione. L'attività di ricerca si è concentrata su diversi aspetti fisiologici e ambientali della pianta, cercando di comprendere i meccanismi attraverso i quali essa interagisce con l'ambiente circostante. Le misure hanno analizzato la capacità della *Sansevieria*

Cylindrica di adattarsi a vari stress ambientali, come variazioni di temperatura, umidità e reazione a radiazioni applicate. Un altro aspetto di rilievo emerso dalle campagne di misurazione riguarda la sua resilienza; infatti, in quanto pianta crassulacea, essa ha una notevole resistenza alla siccità e una capacità di sopravvivere in condizioni di scarsa illuminazione, rendendola una pianta estremamente versatile e adattabile a diversi ambienti domestici e lavorativi come evidenziato in *Hassan, M. HA. et al. (2021).* Lo stesso setup utilizzato per caratterizzare la *Dimorphotheca ecklonis,* precedentemente citato, è stato impiegato anche in *Trigona, C. et al. (2023)* per comprendere le proprietà di sensing della *Sansevieria Cylindrica Velvet Touchz,* un esemplare presentato in *Figura 7*. Secondo i risultati ricavati dallo studio, la *Sansevieria* ha maggiori potenzialità della *Dimorphotheca*, mostrando performance superiori in termini di risoluzione e sensibilità.

Figura 7 Esemplare di Sansevieria Cylindrica Velvet Touchz blu (dal sito Bing).

Grazie ai risultati ottenuti, lo studio si è focalizzato sulle capacità di sensing della *Sansevieria*, che è una delle piante con metabolismo CAM, descritto da *Niechayev, N. A. et al. (2019),* alla radiazione ottica UV nel range 350 – 400 nm, messa a confronto con altre tipologie di piante è risultata essere la più adatta avendo registrato una densità di potenza superiore. Il setup utilizzato per questo studio, presentato in *Figura 8*, era formato da una *Sansevieria* con rizomi di altezza confrontabile, un generatore di radiazione UVA serie *Labino 135 da 35W*, un supporto per variare la distanza sorgente/pianta, un *UV meter PCE-UV34* che opera tra 290-390 nm. Gli elettrodi erano

in rame e zinco per avere il maggiore potenziale redox[3] , collegati ad una DAQ che a sua volta era collegata ad un pc con una routine LabVIEW®, hanno permesso di acquisire i dati che sono poi stati elaborati mediante software MATLAB®.

Figura 8 Setup impiegato per effettuare le misure con sorgenti UV nella Sansevieria Cylindrica.

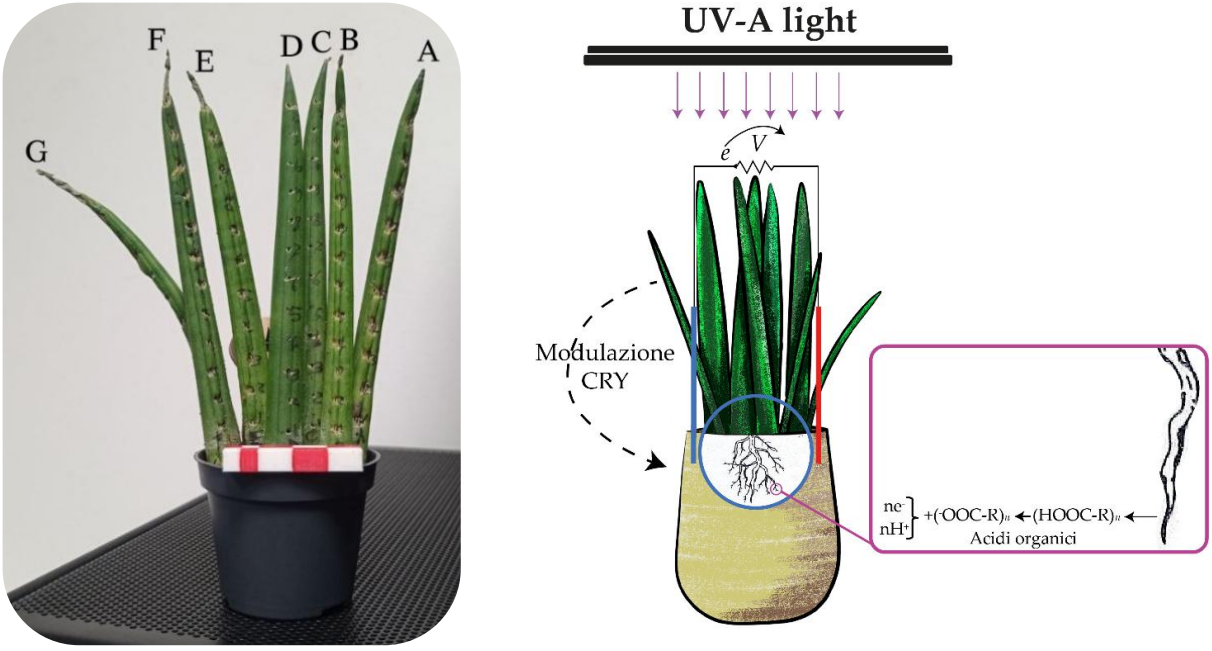
I punti di forza di utilizzare un "*living sensor*", come descritto in *Trigona, C. (2023)* indoor come la *Sansevieria* sono sicuramente la poca manutenzione di cui ha bisogno (la si annaffia una volta al mese), fattore di crescita contenuto (circa 1 cm ogni anno), il potenziale autogenerante senza dover utilizzare delle componenti elettriche e la capacità di assorbire CO_2 ed essere mimetica.

L'equivalente elettrico della *Sansevieria Cylindrica*

Verificate le potenzialità della *Sansevieria Cylindrica* come sensore, è stato realizzato uno studio per individuare l'equivalente elettrico della pianta. Tale attività risulta di interesse per modellizzare il sensore vivente e progettare una tipologia adeguata. La struttura ottenuta consente anche la progettazione di un opportuno sistema di filtraggio, utilizzando la componente resistiva/capacitiva fornita dalla pianta stessa. Per tale studio è stato utilizzato l'esemplare di *Sansevieria* mostrato in *Figura 9a* con le sigle utilizzate per individuare i 7 rizomi presenti; mentre in *Figura 9b* è schematizzato l'impianto e il principio di trasduzione descritto nello studio di *Trigona et al. (2023)*. Il

[3] dal dizionario Treccani: In chimica, abbreviazione di *reduction-oxidation*, con cui si indica ogni reazione di ossidoriduzione.

principio di base del meccanismo di trasduzione è attribuibile alla fotoeccitazione dei criptocròmi[4], che si verifica mediante specifici processi fisiologici della pianta. Grazie alle radiazioni UV, che hanno un impatto sul metabolismo delle piante agendo sulla loro risposta biologica e agendo sui micro e macrorganismi presenti nel suolo. Questi fattori, nel loro complesso, determinano variazioni nel potenziale redox, spiegando così la tensione rilevata tra i due elettrodi.

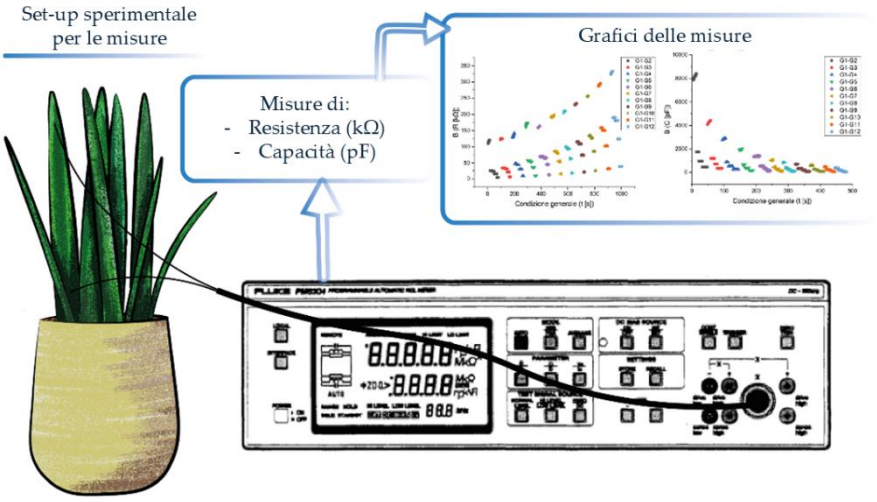


(a) *(b)*

Figura 9 Esemplare di Sansevieria Cylindrica utilizzato per effettuare le misure per individuare l'equivalente elettrico (a) e il rispettivo principio di funzionamento (b) (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

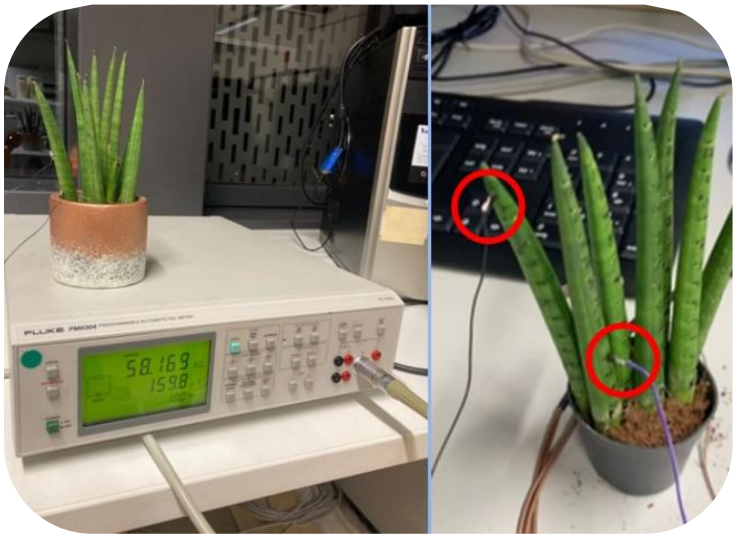
Le misure sono state effettuate mediante l'adozione di contatti a distanza di circa 1 cm per tutta la lunghezza di ogni singolo rizoma fino ad un massimo di 11 o 12 fori per ognuno. La *Figura 9* mostra i vari punti di contatto. Nelle *Figure 10a e 10b* sono riportati lo schema ed il reale setup utilizzato per effettuare le misure elettriche di resistenza e capacità, con un dettaglio del posizionamento di alcuni elettrodi utilizzati.

[4] Dal dizionario Treccani: criptocròmo [Comp. di cripto- e (fito)cromo] [BFS] Fotorecettore vegetale



(a)

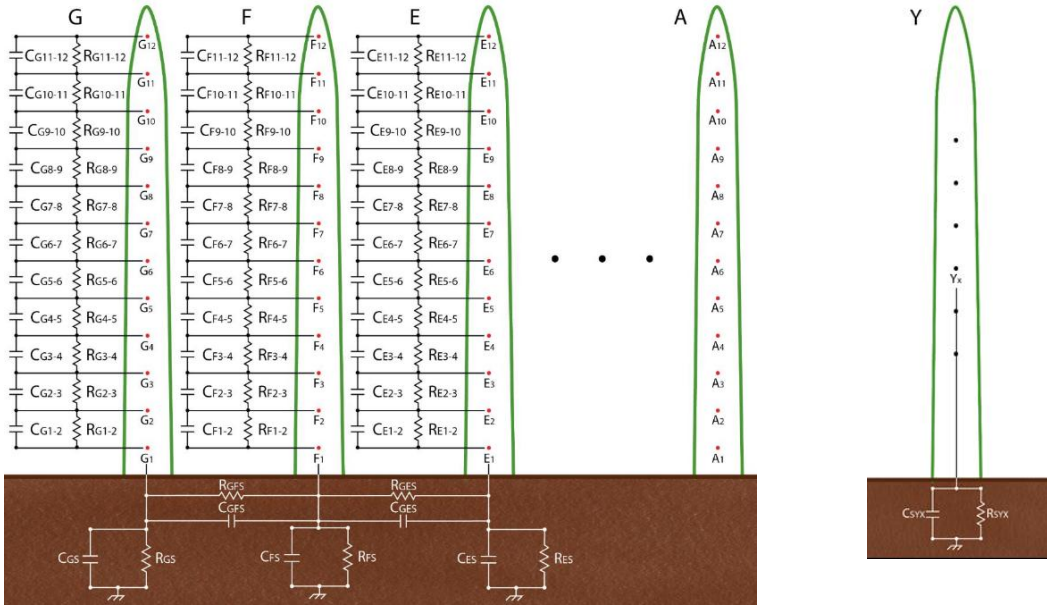
(immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).



(b)

Figura 10 Illustrazione grafica (a) set-up sperimentale (b) utilizzato per la realizzazione della campagna di misure di resistenza e capacità.

La *Figura 10b* mostra il misuratore RLC programmabile Fluke PM6304 con il quale è stato possibile visualizzare la risposta in termini di resistenza misurata in kiloOhm [kΩ] e capacità misurata in pico Farad [pF], in più rizomi (*G-E-F*) e nel terreno (*T*). *In Figura 11a* (casi 1,2,3,4,5 e 6) e *11b* (caso 7) viene illustrato l'equivalente elettrico della *Sansevieria cilindrica.*



(a) *(b)*

Figura 11 Rappresentazione grafica dell'equivalente elettrico per i casi 1,2,3,4,5 e 6 (a) caso 7(b) (immagini proprietarie realizzate da S. Rapisarda).

Le misure di resistenza e capacità sono state realizzate utilizzando elettrodi ***Viola-Nero*** (Rame - Rame), caratterizzati mediante tecnica XRF (*X-ray fluorescence spectroscopy*), così da non avere influenze redox. Per collegare i rizomi e il terreno nelle differenti combinazioni, sono state utilizzate due sequenze diverse:

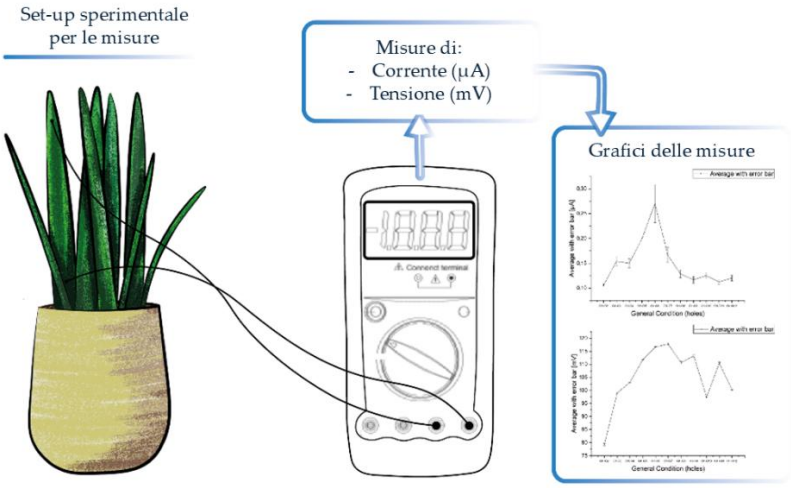
- ***UP*** (un elettrodo si manteneva sul foro più basso e l'altro si spostava dal basso verso l'alto, G1-G2, G1-G3 e così via lungo tutti i rizomi);
- ***DOWN*** (un elettrodo si manteneva sul foro più alto e l'altro si spostava dall'alto verso il basso, G12-G11, G12-G10 e così via lungo tutti i rizomi), realizzando le varie configurazioni, allo stesso tempo variavano i rizomi collegati, tutti descritti in *Tabella 7*.

Il confronto con il terreno è stato eseguito mantenendo un elettrodo nel terreno e spostando l'altro elettrodo nelle due sequenze precedentemente descritte.

Tabella 7 Configurazioni di misura corrispondenti ai 7 diversi casi (descrizione nel testo)

Caso	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***
Rizomi	*G-G*	*G-G*	*G-F*	*G-F*	*G-E*	*G-E*	*G-TERR*
Posizione	*UP*	*DOWN*	*UP*	*DOWN*	*UP*	*DOWN*	*UP e DOWN*

La metodologia utilizzata è schematizzata in *Figura 12a*, e mostra le misure realizzate con un multimetro Voltcraft VC 220 Manual per la risposta in termini di tensione misura millivolt mV, e di corrente misurata in micro Ampere mA, in questo caso le analisi si sono concentrate su un singolo rizoma (G). Ciò che variava era la composizione degli elettrodi così da comprendere le variazioni considerando anche la reazione redox. Il setup è mostrato in *Figura 12b*.



(a)

(immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

(b)

Figura 12 Illustrazione grafica (a) set-up sperimentale (b) utilizzato per la realizzazione della campagna di misure di tensione e corrente.

Per le misure effettuate con il multimetro sono stati utilizzati elettrodi con diverse combinazioni di materiale anche essi caratterizzati con tecnica XRF, ***Giallo-Arancio*** (Nichel-Rame Zinco-Ferro), ***Verde-Nero*** (Rame Zinco-Ferro) e ***Viola-Nero*** (Rame-Rame), le prime due combinazioni generano la reazione redox mentre la terza, come già detto, non la genera. La descrizione delle misure effettuate mediante il multimetro,

è stata inserita nel dettaglio in *Tabella 8*, per questa configurazione è stata scelta solo la sequenza ***UP*** in cui un elettrodo veniva posizionato alla base è l'altro veniva spostato da basso verso l'altro sia per tutti i fori provocati che successivamente per esaminare solo tre fori base, centro ed apice del rizoma, il tutto realizzato utilizzando le tre combinazioni di elettrodi. La *Tabella 9* descrive le caratteristiche della *Sansevieria Cylindrica* riportate in *Trigona et al. (2023)*.

Tabella 8 Misure effettuate con diversi elettrodi.

Elettrodi	***Rizoma/i***	***Posizione fori***
Giallo-Arancio	*G-G **UP***	*da 1-2 a 1-12*
	G 1-2/1-6/1-12	*tre punti*
Verde - Nero	*G-G **UP***	*da 1-2 a 1-12*
	G 1-2/1-6/1-12	*tre punti*
Viola - Nero	*G-G **UP***	*da 1-2 a 1-12*
	G 1-2/1-6/1-12	*tre punti*

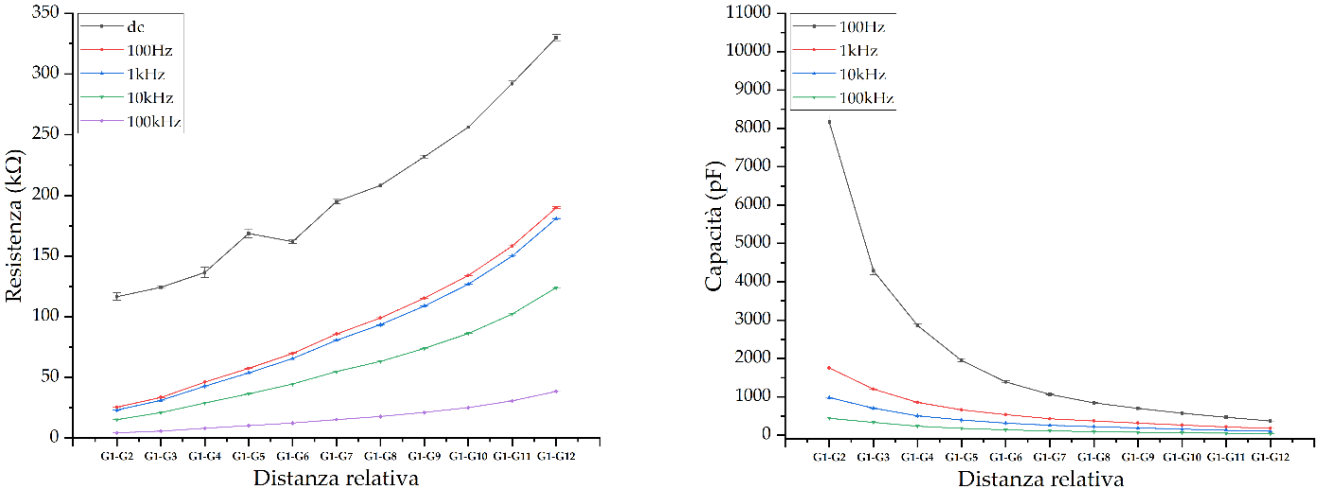
Tabella 9 Descrizione dei parametri interessati.

Pianta	Prezzo	Risposta spettrale [nm]	Campo visivo [°]	Potenza [mW]	Tempo di risposta [ms]	Sensibilità [mV/mW/cm²]	Risoluzione [mW/cm²]	Campo di misura [mW/cm²]	Accuratezza [%]	Deviazione termica [%/° C]
Sansevieria Cylindrica	7	350-400	45	Auto-generazione	60k	8.3	0.1	2.6	±10	±4

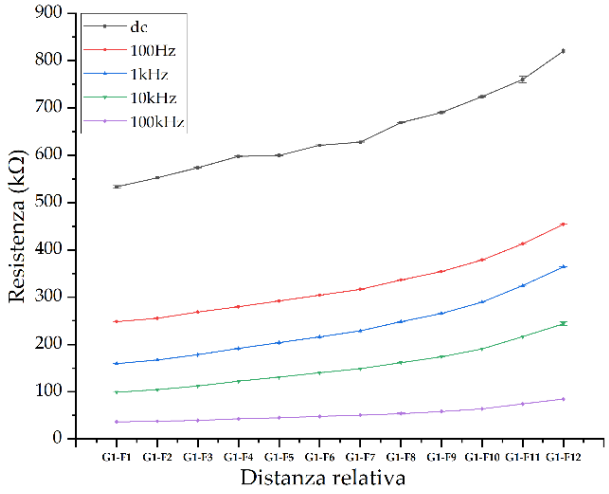
In *Tabella 10* sono riportati i risultati in termini di resistenza e capacità, mentre la *Tabella 11* riporta i risultati ottenuti in termini di corrente e tensione dei due differenti setup citati precedentemente.

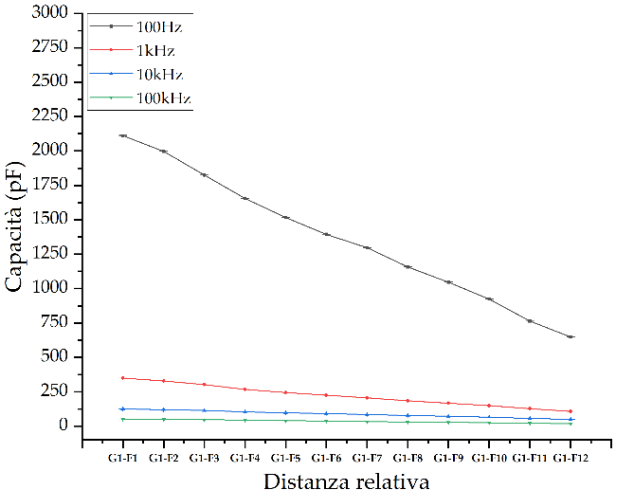
Tabella 10 Risultati ottenuti in termini di resistenza e capacità nello studio dei 7 casi.

Caso 1

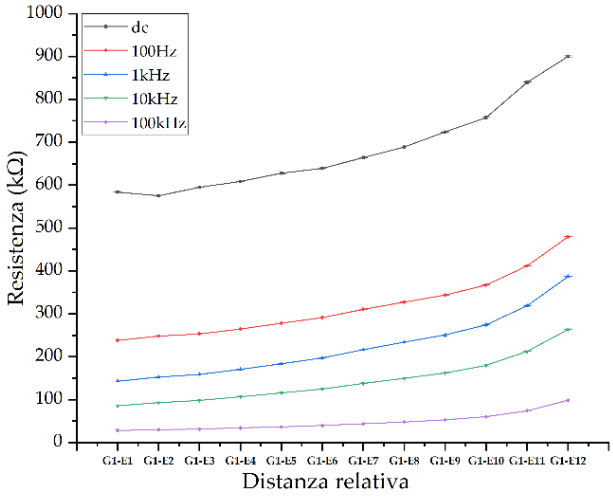


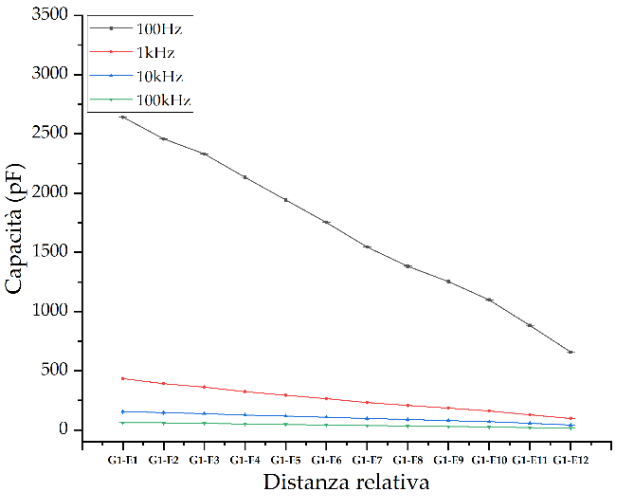
Caso 2



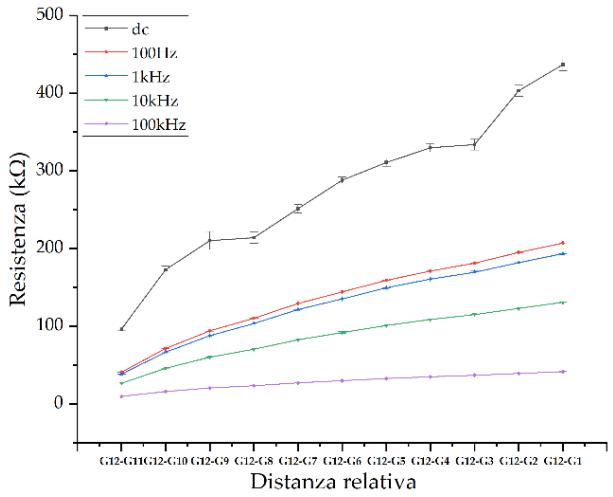


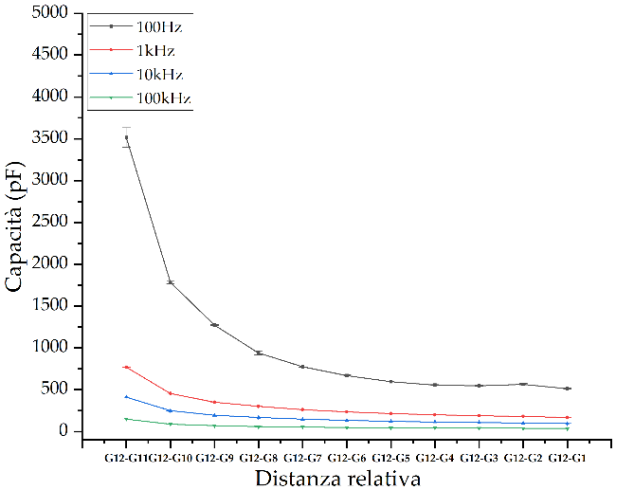
Caso 3



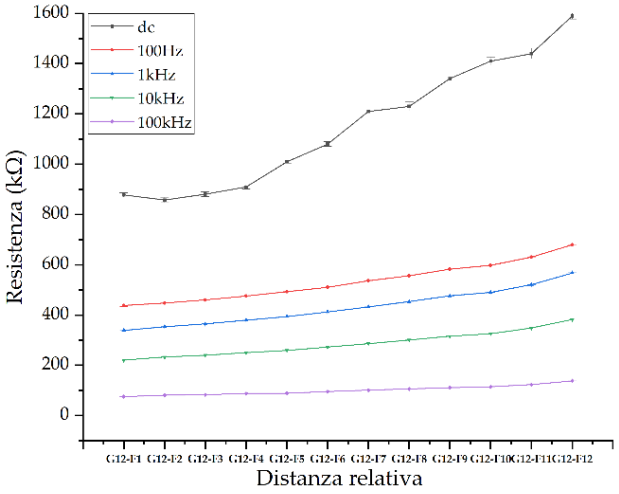


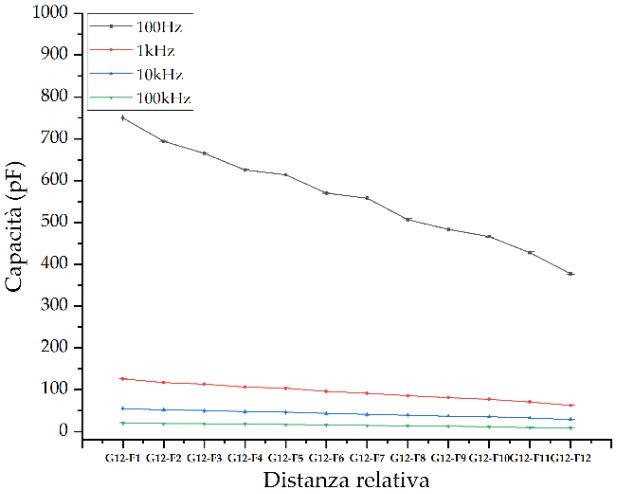
Caso 4



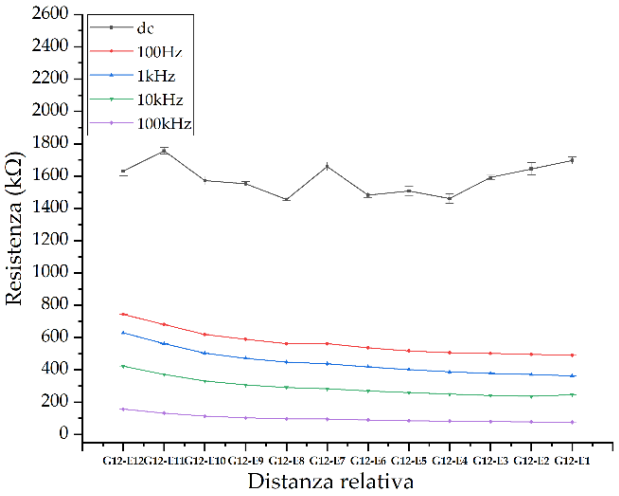


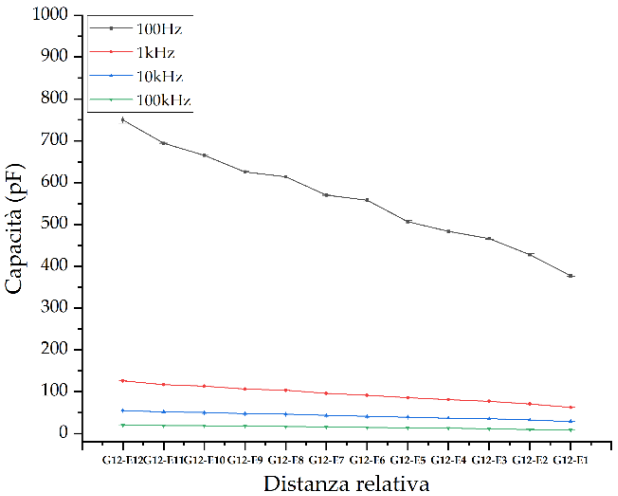
Caso 5



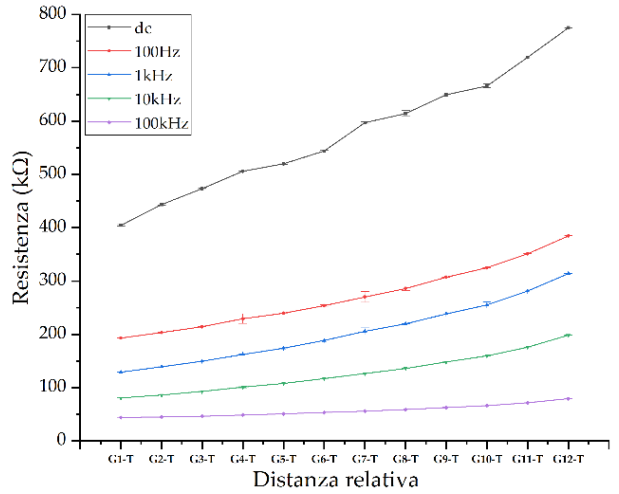


Caso 6





Caso 7



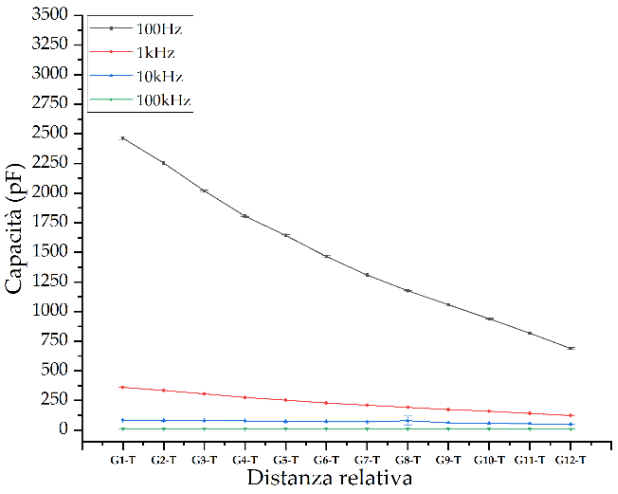
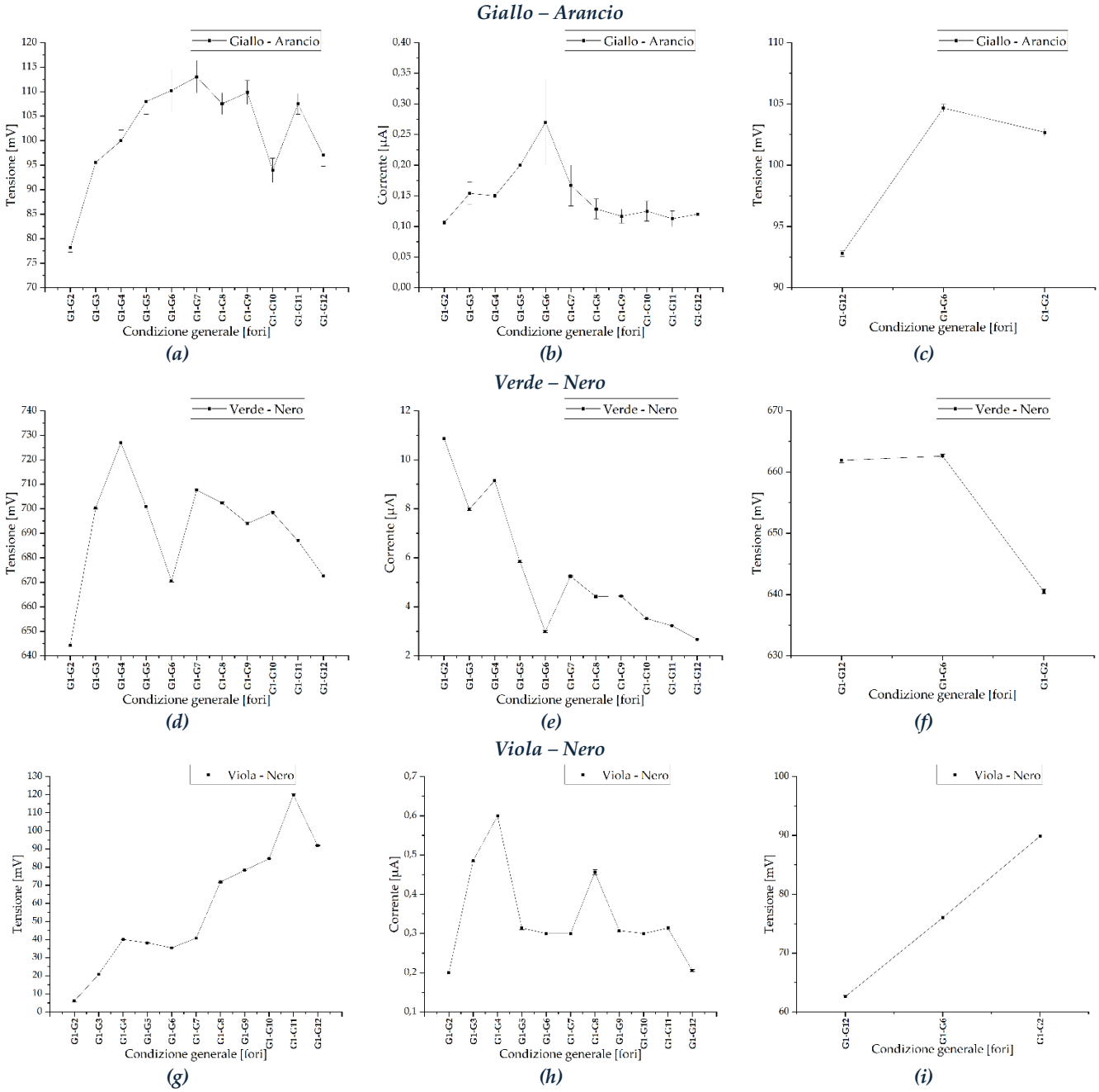


Tabella 11 risultati delle misure effettuate con il multimetro, (a) tensione (b) corrente (c) tensione in tre punti.



Al fine di studiare gli effetti dell'influenza legati alla temperatura e all'umidità relativa, la *Sansevieria* è stata analizzata all'interno di una camera climatica (CC) Espec SH-242, come mostrato in *Figura 13*. La camera adottata non prevede la presenza di sorgenti luminose, garantendo che la pianta non fosse esposta ad altre influenze. Infatti, all'interno della CC non sono presenti fonti di luce.

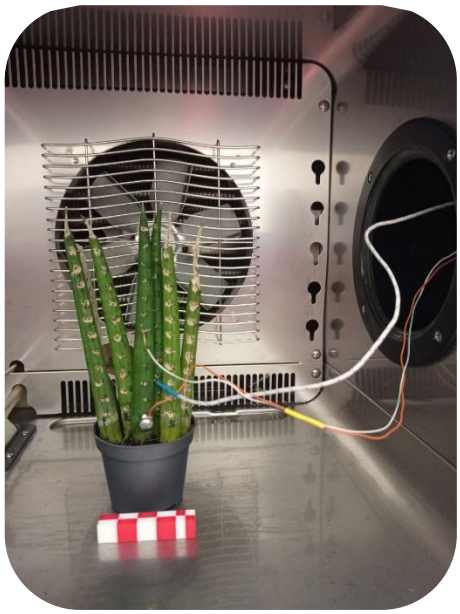
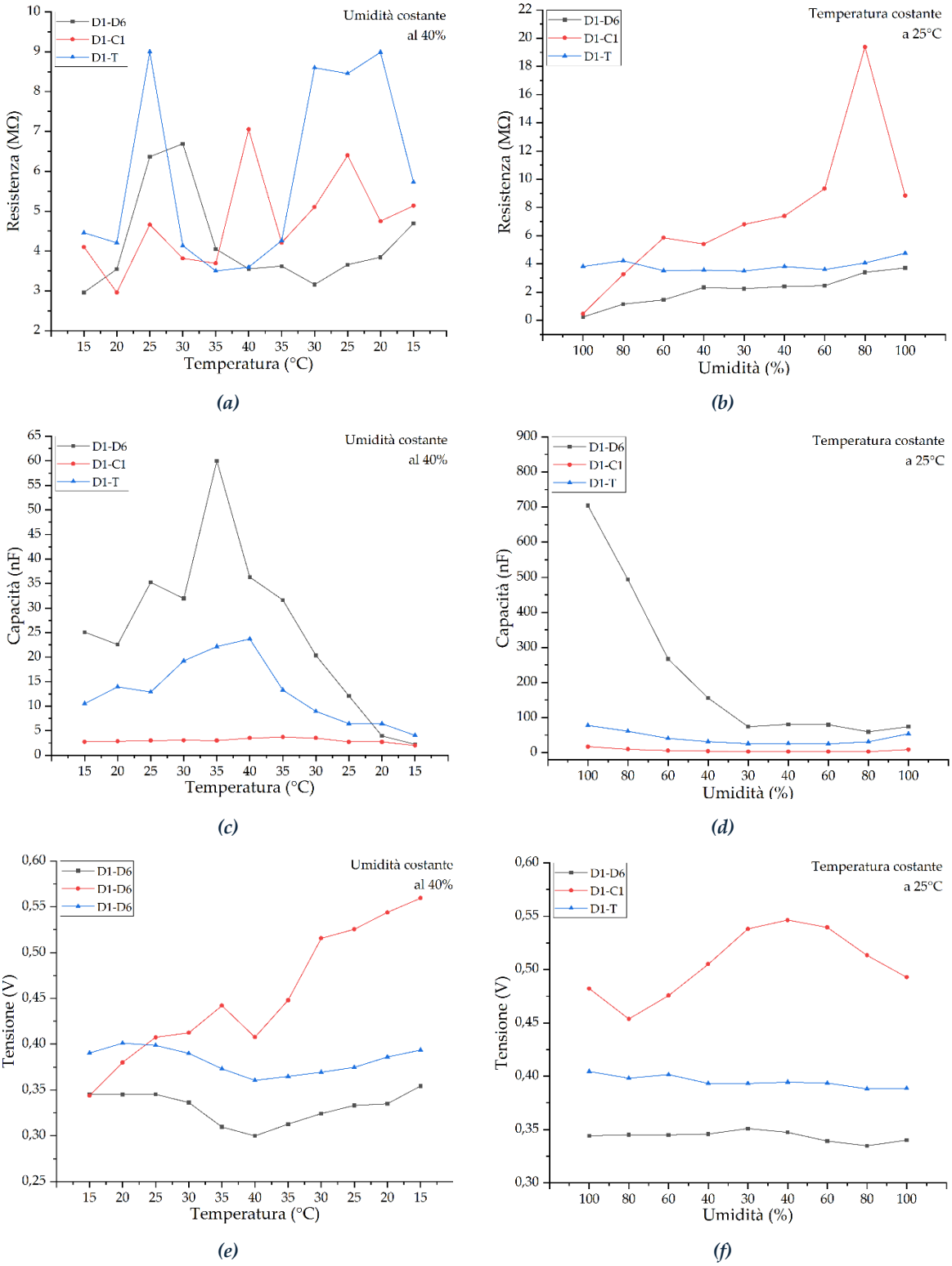


Figura 13 Sansevieria Cylindrica all'interno della CC Espec SH-242.

Le misure sono state realizzate analizzando il rapporto tra due diversi fori dello stesso rizoma, due fori in due differenti rizomi e confrontando il singolo rizoma con il terreno. I punti analizzati venivano identificati come D1-D6, D1-C1 e D1-S, sia in termini di temperatura che di umidità relativa. I fori sono stati scelti dopo un'attenta analisi delle misure citate in precedenza, consentendo una valutazione completa della risposta fisiologica della pianta e considerando che questa potrebbe variare in base alla disposizione degli elettrodi. Durante gli esperimenti, la *Sansevieria* è stata esposta a una serie di condizioni climatiche controllate. La temperatura e l'umidità relativa sono state analizzate al fine di studiare eventuali isteresi[5] con step di 5 °C per la temperatura e del 20 % per l'umidità relativa, entrambi definiti per emulare situazioni di stress ambientale che la pianta potrebbe incontrare in ambienti confinati. In *Tabella 12*, sono stati riportati i risultati ottenuti variando temperatura e umidità relativa, in termini di resistenza *Tabella 12a e 12b* misurata in [MΩ], capacità *Tabella 12c e 12d* misurata in [nF] e tensione *Tabella 12e e 12f* misurata in [V], ottenuti con le campagne effettuate in CC.

[5] Dal dizionario Treccani: ogni fenomeno in cui il valore di una grandezza, che sia funzione di altre grandezze, dipende, in un dato istante, non solo dai valori che queste hanno in quell'istante, ma anche da quelli che esse hanno assunto in istanti precedenti.

Tabella 12 Risultati delle misure effettuate mediante isteresi in Camera Climatica in termini di resistenza e capacità.



Le analisi hanno permesso di tracciare il comportamento della pianta durante le diverse fasi degli esperimenti. Tutti i dati aggiuntivi raccolti hanno mostrato che la *Sansevieria* non presenta una reattività significativa a variazioni di temperatura e

umidità relativa, suggerendo che potrebbe essere utilizzata come un sensore vegetale per monitorare condizioni di illuminamento UV, come descritto nel lavoro di *Trigona C, et al. (2023).* Questo comportamento la rende una candidata promettente per ulteriori studi nel campo dei sensori biologici vegetali. Una delle prime campagne eseguita per validare la *Sansevieria in situ* è stato svolto all'interno del contesto museale, nello specifico nel deposito del Museo Civico di Castello Ursino, per il quale vengono presentati i dati in termini di tensione in funzione del tempo in *Figura 14*, mettendo a confronto la *Sansevieria* e un fotoresistore utilizzato come sensore di riferimento. Il grafico mostra la capacità del sensore vivente di rilevare la radiazione ricevuta. È possibile risalire al valore di tale misurando convertendo, tramite la sensibilità stimata in fase di caratterizzazione, l'ampiezza del segnale in tensione. Il valore pari a circa -0.965 V rappresenta la condizione di buio. L'uscita del fotoresistore, opportunamente convertita in tensione mediante resistenza di pull-up, è stata attenuata per poter confrontare l'andamento auto-generante del sensore vivente.

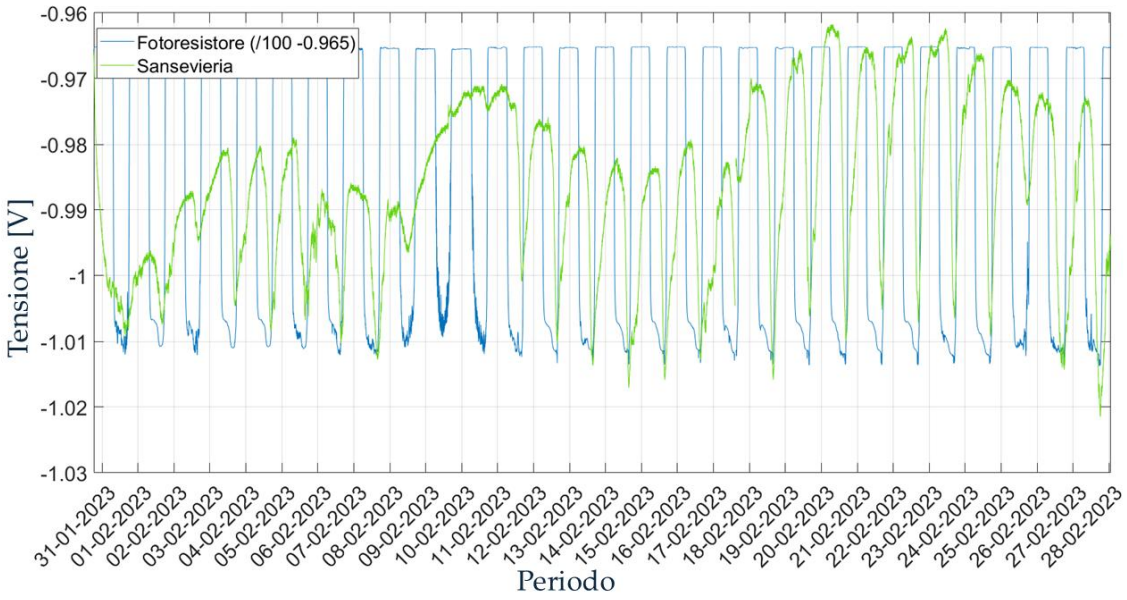


Figura 14 Confronto di misure di tensione realizzate con la Sansevieria e un fotoresistore commerciale.

Le indagini future potrebbero approfondire la comprensione delle risposte a lungo termine, al fine di valutare la possibilità di utilizzare questa pianta in sistemi di monitoraggio ambientale indoor, dove non è sempre possibile accedere facilmente, come musei, chiese, pinacoteche, depositi, ecc.

Bibliografia Capitolo 3 – Dispositivi innovativi per il monitoraggio

- Burdon-Sanderson, J. S. "I. Note on the electrical phenomena which accompany irritation of the leaf of Dionæa muscipula." *Proceedings of the Royal Society of London* 21.139-147 (1873): 495-496.
- Criptocromo - Enciclopedia - Treccani (consultato il 28/11/2024).
- Darwin, Charles, and Francis Darwin. "The power of movement in plants." (1883).
- Dimorphotheca ecklonis (bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Dionaea muscipula (bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Fromm, J., et al. "Electrical signals and their physiological significance in plants." *Plant, cell & environment* 30.3 (2007): 249-257.
- Hassan, M.H.A., et al. "Phytochemical constituents and biological activity of selected genera of family Crassulaceae: A review." *South African Journal of Botany* 141 (2021): 383-404.
- Isteresi - Significato ed etimologia - Vocabolario - Treccani (consultato il 6 agosto 2024).
- Lobo, M. A., et al. "Electrical sensing of the plant Mimosa pudica under environmental temperatures." 2023 IEEE 7th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG). IEEE, (2023).
- Mimosa pudica(bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Niechayev, N. A., et al. "Understanding trait diversity associated with crassulacean acid metabolism (CAM)." *Current Opinion in Plant Biology* 49 (2019): 74-85.
- Redox - Enciclopedia - Treccani (consultato il 19 giugno 2024).
- Sansevieria cylindrica velvet touch blu (bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Sensori - Enciclopedia - Treccani (consultato il 14 giugno 2024).
- Trigona, C., et al. "A Plant-Based Sensor for UV-A radiation measurements." 2021 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference I2MTC. IEEE, (2021).
- Trigona, C. "Living sensors: The greenest paradigm in instrumentation and measurements." *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine* 26.1 (2023): 35-41.
- Trigona, C, et al. "A "Living Sensor" Based on Sansevieria Plant for Measurement of UV-A Radiation." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 72 (2023): 1-10.
- Tropismo - Significato ed etimologia - Vocabolario - Treccani (consultato il 5 agosto 2024).
- Volkov, A. G., et al. "Mimosa pudica: electrical and mechanical stimulation of plant movements." *Plant, cell & environment* 33.2 (2010): 163-173.
- Wang, Qiuran, et al. "Sowing the seeds of intentionality: Motor intentions in plants." *Plant Signaling & Behavior* 16.11 (2021): 1949818.

Capitolo 4 – Monitoraggio *in situ* con soluzioni alternative

Le campagne di misura svolte nell'ambito della tesi hanno riguardato anche dispositivi *eco-friendly* in grado di ridurre l'ausilio di componenti elettronici da smaltire, come ad esempio le batterie riconosciute come rifiuti speciali citate in *Melchor-Martínez, E. M. et al. (2021).* Per questo motivo dal laboratorio dell'Università degli Studi di Catania, sono stati progettati dei nodi sensoriali in grado di monitorare in modo smart più grandezze fisiche contemporaneamente. L'aspetto intelligente riguarda la possibilità di adottare sistemi a recupero energetico ibridi (es. da radiazioni, gradienti termici e vibrazioni meccaniche indotte) in grado di sostenere i nodi di misura. Di seguito vengono presentate due applicazioni che riguardano tali dispositivi e, in particolare, della prima tipologia progettata grazie alle misure *in situ* è stato poi realizzato un upgrade. Le misure sono state eseguite in due contesti indoor differenti, che ospitano manufatti e allo stesso tempo sono essi stessi opere d'arte. I dispositivi hanno restituito dei dati puntuali utili per la conservazione preventiva del patrimonio artistico e culturale in linea con le norme vigenti.

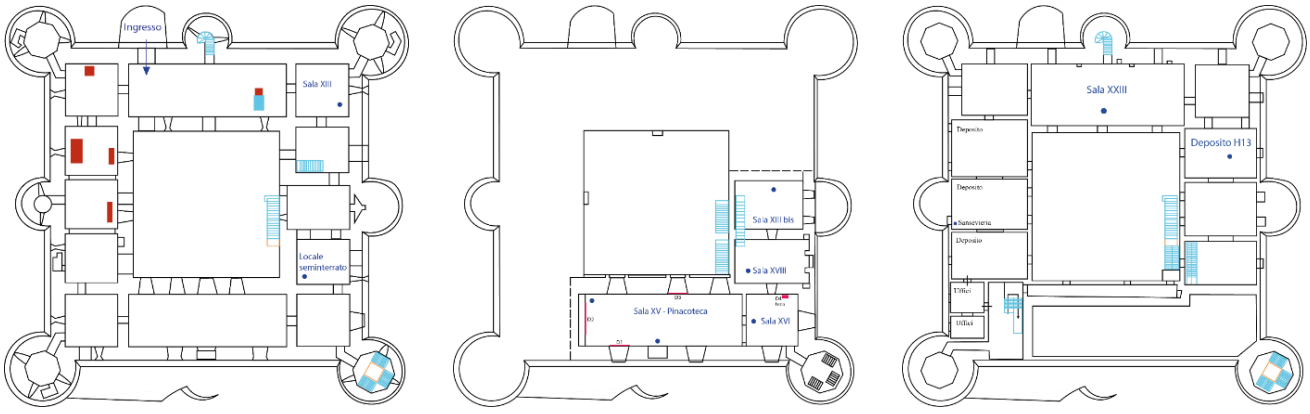
Campagna di misure nel Museo Civico del Castello Ursino

Caso studio relativo al monitoraggio all'interno di una teca

La costruzione del Museo Civico del Castello Ursino, in *Figura 15*, venne iniziata da Federico II di Svevia, tra la fine del 1239 e l'inizio del 1240, ed affidata a Riccardo da Lentini. La sua realizzazione faceva parte di un progetto più ampio di fortificazione della Sicilia orientale, avviata già negli anni precedenti. Benché le possibilità economiche della città non fossero ideali per la costruzione, esso venne eretto in poco tempo su di un promontorio che si affacciava sul mare. I fruitori che ad oggi visitano il museo, non immaginano l'originale collocazione poiché a causa dell'eruzione avvenuta nel 1669 la sua posizione rispetto alla città è cambiata. Fortunatamente la struttura non fu intaccata dalla colata lavica, ma perse completamente la sua funzione militare.

Figura 15 Posizione geografica e Museo Civico del Castello Ursino (dal sito Bing).

Il Castello presenta, una pianta geometrica con doppio perimetro, visibile in *Figura 16*, delimitata da quattro torri angolari e quattro torri mediane, una delle quali oggi non presente, con un'ampia corte interna. Dalla sua costruzione è sempre stato impiegato, come fortezza, dimora reale degli Aragonesi, successivamente dei Viceré Spagnoli, carcere e caserma. In epoca fascista venne restaurato e dal 1934 divenne sede di raccolte civiche in cui erano presenti sezioni archeologiche Medievale, Rinascimentale e Moderna. Restaurato e riqualificato come monumento del patrimonio storico e culturale nel 1988, ad oggi il Castello vanta svariate mostre, temporanee e permanenti.



(a) ***(b)*** ***(c)***

Figura 16 Pianta dei tre livelli del Museo Civico del Castello Ursino (a) livello1 (b) livello2 (c) livello3 (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Tra i manufatti ospita anche la piccola opera (16,5 cm x 11,5 cm), oggetto di una specifica campagna di monitoraggio, riposta all'interno di una teca, il dipinto "*Ritratto di gentiluomo*", dipinto ad olio su tela mostrato in *Figura 17*. Il dipinto fu attribuito nel 1933 da Enzo Maganuco ad El Greco, e nel 1937 Guido Libertini confermò tale attribuzione nel corso di un inventario delle opere del museo.

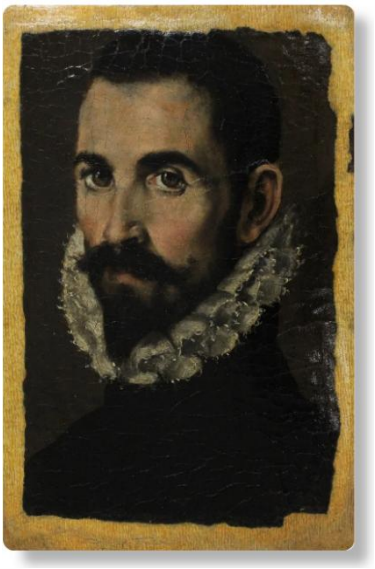


Figura 17 Ritratto di Gentiluomo (dal sito Bing).

L'opera acquisì popolarità negli anni '60, periodo in cui il dipinto venne scelto come copertina dell'edizione francese del libretto su El Greco curato da Anna Pallucchini nella collana "*Fabbri Maestri del colore*". Nel 1967, venne esclusa dalla monografia su El Greco redatta da Harold Wethey che lo considerava appartenente ad una «*Escuela centro italiana, hacia 1580*», e da quel momento non venne più considerata dagli esperti. Successivamente rivalutata grazie alla mostra "*L'istinto della formica. L'arte moderna dalle collezioni benedettine dai depositi del castello*" a cura di Barbara Mancuso tenutasi presso il Museo Civico di Castello Ursino nel 2017, che ne permise il reinserimento nel catalogo del pittore. Le sue dimensioni ridotte permettono di collocarla tra i manufatti di El Greco chiamati "piccoli dipinti". Il restauro e le indagini eseguite su di esso nel 2019 quali l'imaging multispettrale, hanno permesso di caratterizzare la composizione dello strato pittorico, come un pigmento a base di rame utilizzato per la realizzazione dell'abito, ed il cinabro per la realizzazione della pelle. La stessa metodologia ha

confermato dalle pennellate, l'attribuzione a El Greco. Le analisi hanno fatto emergere anche delle iscrizioni sul retro dell'opera, alcune identificate altre rimaste oscurate. Come già descritto da *Camuffo, D. et al. (2000-2024)*. le teche vengono utilizzate per salvaguardare le opere, capaci di mantenere dei livelli di microclima costanti poiché le fluttuazioni potrebbero arrecare danni irreversibili ai manufatti, ma non sempre sono la scelta più idonea.

Il sistema di misura posizionato all'interno della teca, visibile in *Figura 18a*, che contiene "*Ritratto di gentiluomo*", è descritto nella *Figura 18b*. Esso misurava contemporaneamente la temperatura, l'umidità relativa e le vibrazioni emesse dall'ambiente circostante, che allo stesso tempo ricaricavano la batteria, ad esempio attraverso il calpestio dei visitatori del museo o il traffico. I dati sono stati raccolti tramite tecnologia wireless e acquisiti con un'applicazione per dispositivi smart; successivamente, sono stati elaborati e graficati mediante software. Origin®.

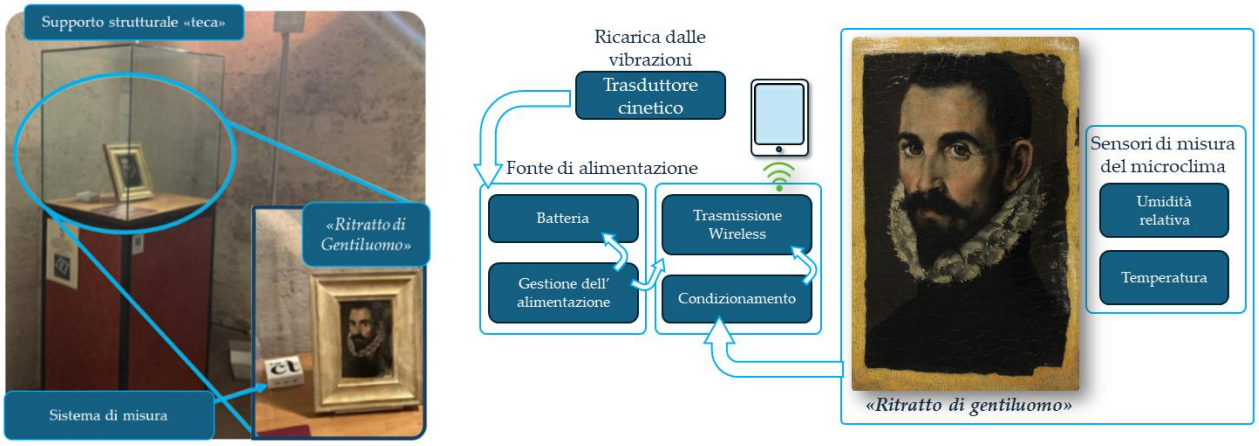


Figura 18 Setup della campagna di misure (a) in situ (b) schema a blocchi del sistema impiegato (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Il dispositivo impiegato, visibile in *Figura 19a*, è formato da un sensore *HTS221*, dispositivo ultracompatto (2 mm x 2 mm x 0,9 mm) che misura l'umidità relativa nel range 0-100% e la temperatura nel range -40 °C a +120 °C, con una precisione di ±3.5 % per l'umidità relativa 20-80 % e ± 0.5 °C per la temperatura 15-40 °C; quattro trasduttori piezoceramici per misurare le vibrazioni, ognuno con un diametro di 27 mm ed uno spessore di 0,52 mm, utili anche per ricaricare una cella a litio *CR2477* da 3 V e 1000

mAh, con un diametro di 24,5 mm che garantiva un'autonomia di circa 500 giorni. L'involucro che contiene il nodo di misura, visibile in *Figura 19b*, è stato appositamente progettato e stampato mediante una stampante 3D in PLA (Acido poli lattico, polimero che fuso può assumere diverse forme), nei laboratori dell'Università di Catania.

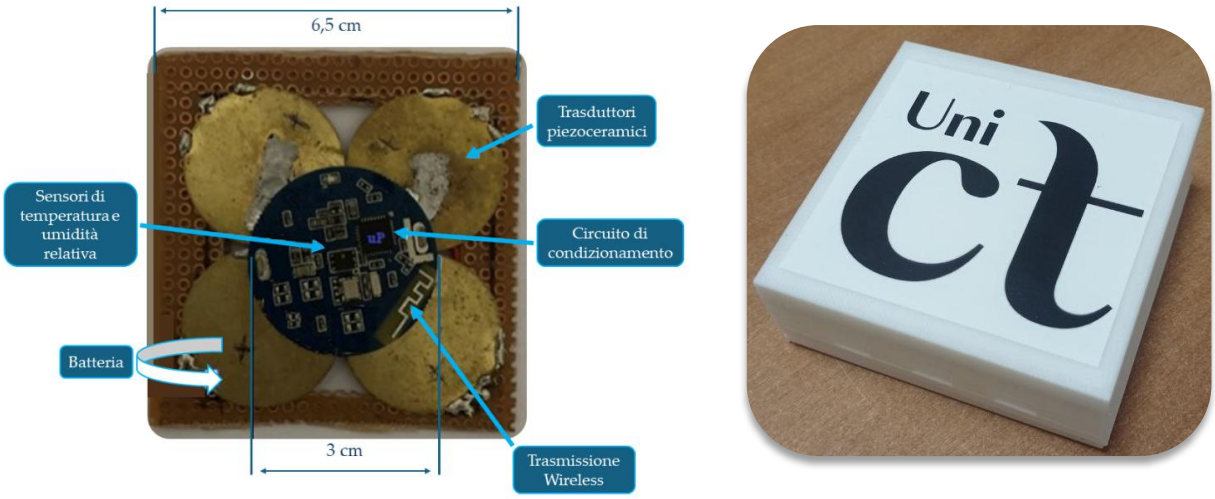


Figura 19 Nodo sensoriale utilizzato per la campagna di misura visto dall'interno (a) e dall'esterno (b).

Il sistema è stato implementato all'interno del Museo del Castello Ursino, per osservare il comportamento di temperatura, umidità relativa e vibrazioni all'interno della teca in cui è stato esposto il "*Ritratto di gentiluomo*". La campagna si è protratta per oltre un anno ed i risultati ottenuti in termini di vibrazioni sono riportati in *Figura 20*, mentre in *Figura 21* viene presentata la frequenza di queste ultime. Le vibrazioni presentate in *Figura 20*, indicano un livello massimo di vibrazione di circa 0,015 m/s^2, di conseguenza i movimenti non risultano essere allarmanti per l'opera. Tale considerazione è validata da quanto contenuto nelle misure di *Ceravolo, R., et al.* (2016).

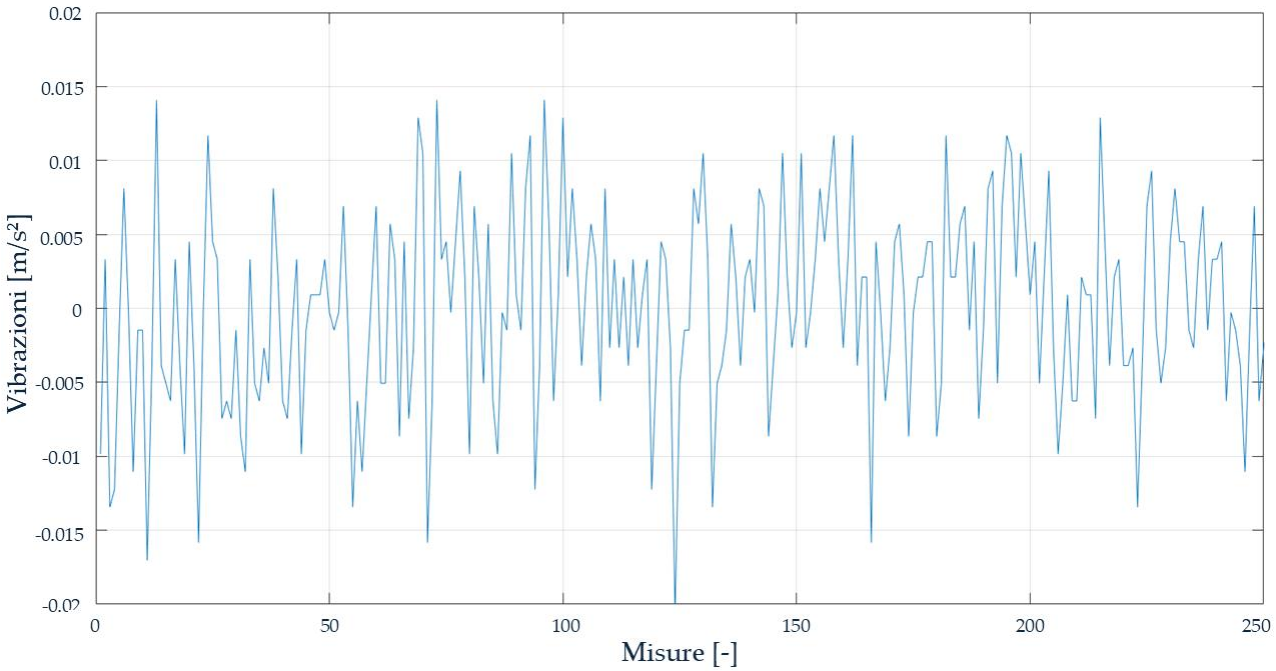


Figura 20 Risultati ottenuti in termini di vibrazioni.

La frequenza delle vibrazioni indotte <50 Hz, visibile in *Figura 21*, non risulta essere problematica per l'opera conservata all'interno della teca. Gli esiti risultano essere in linea con le tipiche vibrazioni cinetiche indotte, che è possibile ritrovare in luoghi museali, arrecate da visitatori, traffico, etc.

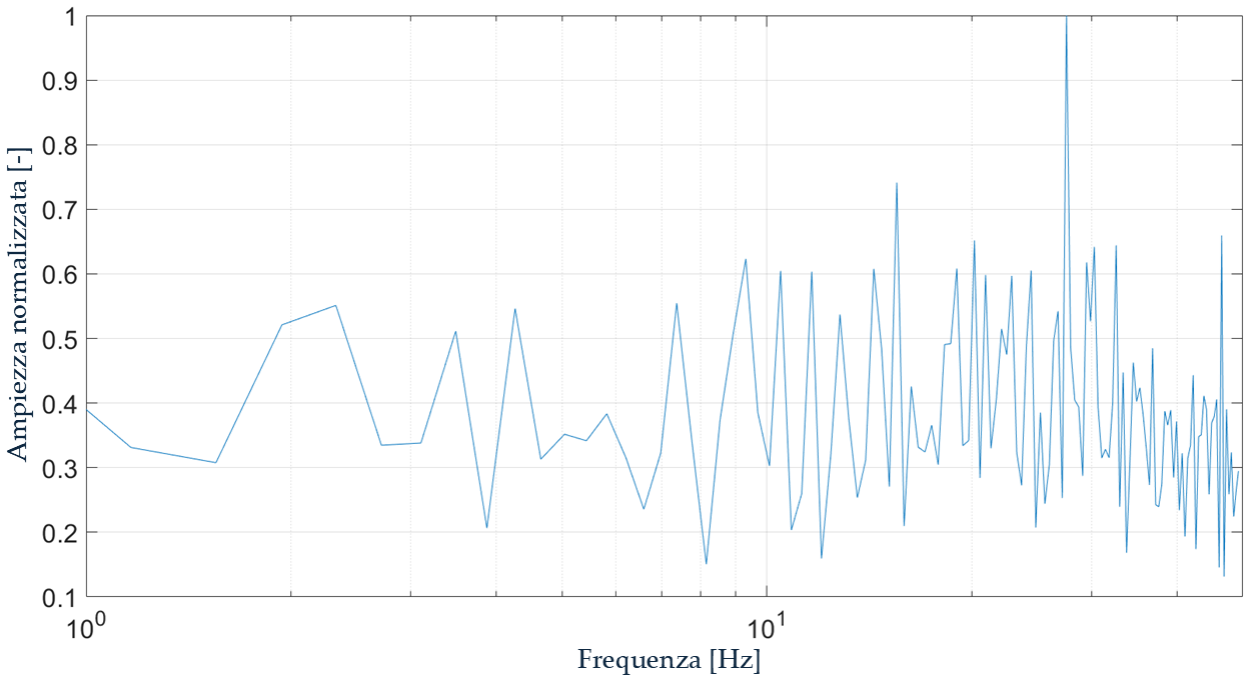


Figura 21 Risultati ottenuti in termini di frequenza.

Il periodo mostrato ha monitorato una settimana in cui il microclima ha superato le soglie limite delineate dalle norme per il benessere delle opere descritta nella normativa *UNI10829*. In *Figura 22a* viene presentato il trend inerente alla temperatura ed in *Figura 22b* quello inerente all'umidità relativa, entrambi in funzione del tempo. Il valore più alto in termini di temperatura lo si è ottenuto durante il giorno 28 °C, ed ha superato di pochi gradi la soglia descritta nella norma, mentre il valore più basso è stato registrato durante la notte, anche per quanto riguarda i valori dell'umidità relativa il picco massimo del 75 % viene raggiunto durante il giorno. In questo caso i risultati evidenziano una variabilità tra il giorno e la notte, con un valore massimo al limite della soglia consigliata dalla normativa.

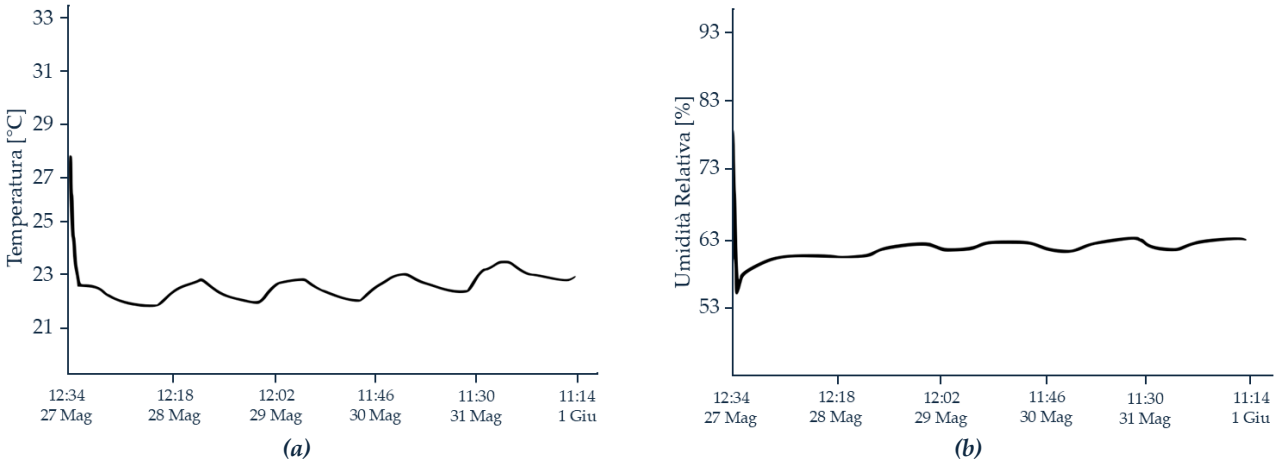
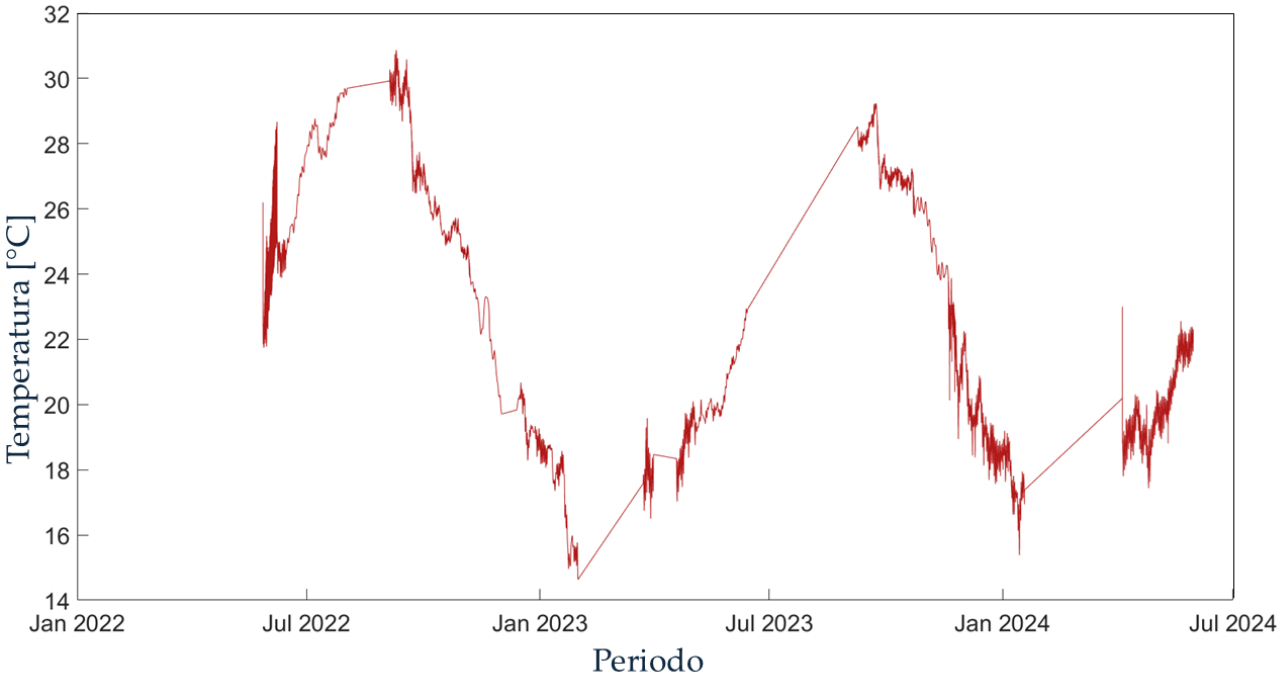
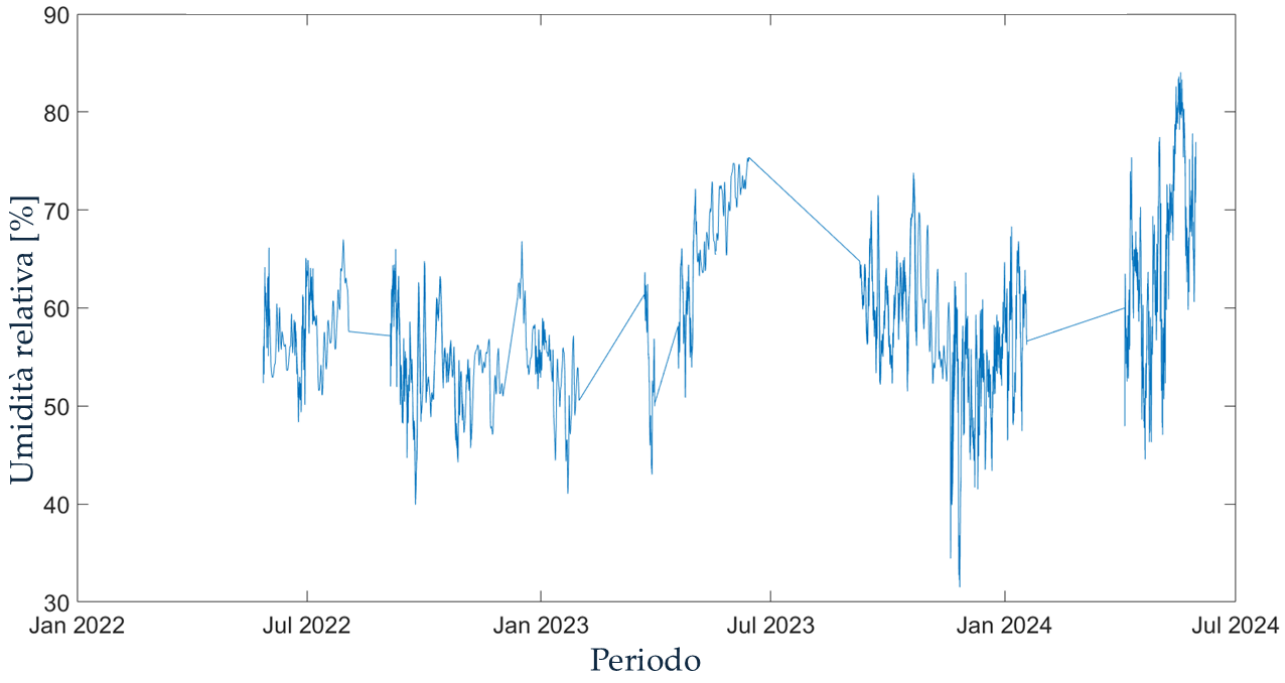


Figura 22 Risultati ottenuti dalla campagna (a) in termini di temperatura (b) in termini di umidità relativa.

Nello stesso momento, nei pressi della teca è stato eseguito il monitoraggio attraverso un dispositivo D1 con le stesse caratteristiche di quello precedentemente citato. In *Figura 23* vengono riportati i risultati in termini di temperatura *Figura 23a* e umidità relativa *Figura 23b*, in funzione del tempo.



(a)



(b)

Figura 23 Andamento ottenuto col dispositivo D1 della temperatura (a) e dell'umidità relativa (b) nei pressi della teca.

L'obiettivo principale del lavoro eseguito era la validazione del sistema di misura utilizzato, realizzando un monitoraggio del microclima all'interno della teca che conteneva "*Ritratto di gentiluomo*" di El Greco; Infatti, grazie alla campagna di misurazioni, è stato possibile testarne le potenzialità. I risultati hanno confermato che

le caratteristiche del sistema di misurazione sono adeguate al monitoraggio nei range di riferimento previsti dalle normative per i luoghi che ospitano opere d'arte. Nello specifico per le opere come "*Ritratto di gentiluomo*", dipinto ad olio su tela, la norma di riferimento *UNI10829*, raccomanda di mantenere parametri microclimatici massimali per la temperatura entro i 19-24 °C, e per l'umidità relativa entro il 40-55 %. Il monitoraggio effettuato ha mostrato che la temperatura è rimasta tra 23-24 °C e l'umidità relativa variava tra 53-58 %, entrambe i parametri sono molto vicini ai valori limite superiori, ma per intervalli accettabili.

Il monitoraggio ha evidenziato la necessità di ulteriori ispezioni e di un monitoraggio continuo. Infatti, il dispositivo implementato sarà utilizzato per un periodo più lungo, al fine di rafforzare i dati acquisiti e le conseguenti conclusioni sulla metodologia di conservazione.

Campagna di misure nella Chiesa di Santa Caterina d'Italia a Malta

Caso studio relativo al monitoraggio all'interno del luogo di culto

Il presente caso studio e le misurazioni condotte sono stati realizzati grazie al periodo di ricerca svolto all'estero presso il *Department of Geosciences* dell'Università di Malta, sotto la supervisione del Prof. Sebastiano d'Amico e del Prof. Alfred Micallef.

Nel 1565, per volere del Gran Maestro Jean Parisot de la Vallette, la Chiesa di Santa Caterina d'Italia, visibile in *Figura 24*, venne costruita come luogo di culto adiacente all'Auberge d'Italie per i Cavalieri di Malta che avevano origini italiane. La planimetria originale venne ampliata e ricostruita in un secondo momento divenendo ciò che è fruibile al giorno d'oggi; essa comprende il presbiterio ed un'aula centrale circolare dove durante le funzioni i fedeli si riuniscono.

Figura 24 Mappa di localizzazione e Chiesa di Santa Caterina, La Valletta, Malta (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Nel corso degli anni la Chiesa ha subito diverse variazioni e migliorie come quelle apportate dall'artista Mattia Preti, a cui venne affidata nel 1659 la realizzazione della volta, presentata in *Figura 25a*, dopo aver ricevuto la carica di *Cavaliere di Grazie dell'Ordine Gerosolimitano,* e nello stesso anno a Napoli realizzò e regalò ai Cavalieri Ospitalieri, la pala d'altare realizzata con la tecnica olio su tela di 365 cm x 267 cm, visibile in *Figura 25b* raffigurante il "Martirio di Santa Caterina" a cui nel 1714 venne aggiunta una cornice dorata e intagliata. Negli anni sono state introdotte poi all'interno della chiesa altre opere minori che la valorizzano.

(a)

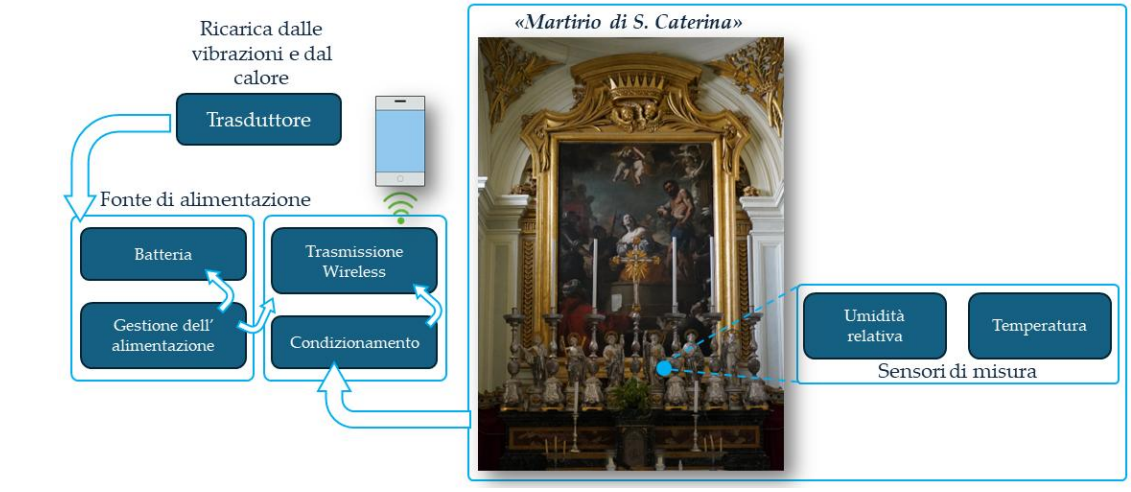
(b)

Figura 25 Opere realizzate all'interno della Chiesa di Santa Caterina d'Italia da Mattia Preti volta (a) pala d'altare (b) (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda).

Dopo la colonizzazione di Malta per mano dei francesi, nel 1798 la chiesa passò sotto il controllo dello stato e dalla fine della Seconda Guerra Mondiale venne affidata alla comunità cristiana italiana a Malta. Più volte negli anni è stato necessario realizzare restauri di vario genere, i più recenti sono stati realizzati nel 2000 per quanto riguarda la parte esterna, mentre tra il 2008 ed il 2011 i lavori si sono focalizzati sugli ambienti interni.

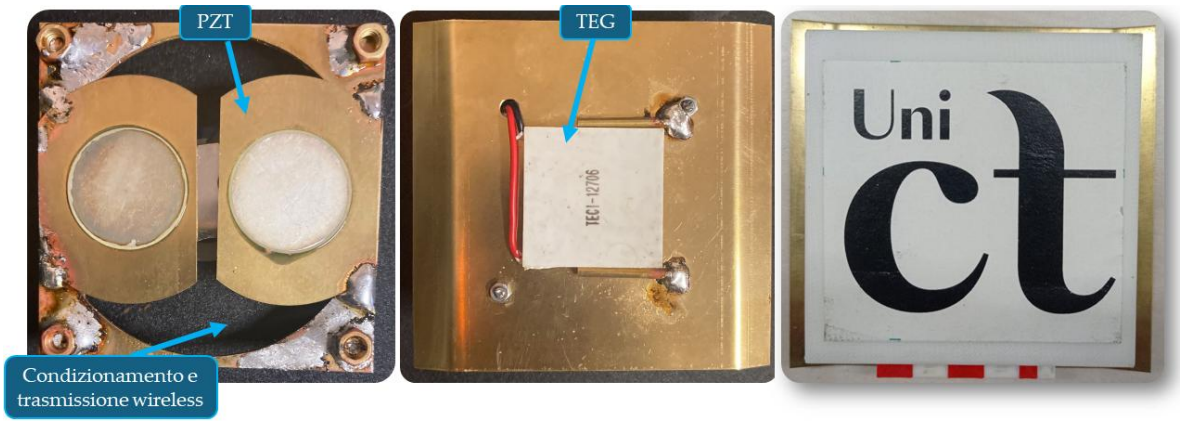
Il monitoraggio seguito all'interno della chiesa di Santa Caterina d'Italia è stato realizzato perché erano visibili delle problematiche negli ambienti interni, come ad esempio il distaccamento dell'intonaco nella parte bassa della sala, è stato quindi indispensabile indagare il comportamento dei parametri fisici d'interesse per comprenderne le variazioni e salvaguardare le opere che vengono custodite all'interno.

Il sistema di misura impiegato in questa campagna e denominato DCT (dispositivo di Catania), è stato progettato e caratterizzato per luoghi confinati in cui sono presenti opere d'arte e, quindi in cui si ha bisogno di effettuare la conservazione preventiva. In questo caso esso è stato utilizzato insieme a dispositivi commerciali per monitorare il microclima della Chiesa di Santa Caterina d'Italia di Malta. Esso è l'upgrade del dispositivo utilizzato nella precedente campagna di misure; infatti, è capace di ricaricare la batteria sia dalle vibrazioni grazie ai trasduttori piezoelettrico (PZT), descritti in *Moheimani, SO. et al. (2006)* che dall'energia termica grazie a trasduttori termoelettrico (TEG), descritti in *Rojas, J. P. et al. (2017)*. In *Figura 26a* viene illustrato il suo principio di funzionamento, che impiega un approccio ibrido, per la misura di parametri d'interesse quali temperatura e umidità relativa. Il suo interno viene mostrato in *Figura 26b*. La comunicazione con l'operatore è stata resa più agevole grazie all'utilizzo di un'applicazione per dispositivi smart, tramite la quale le variazioni possono essere visualizzate in tempo reale.



(a)

(immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda)



(b)

Figura 26 Schema a blocchi (a) e sistema di misura del dispositivo DCT (b) (foto dell'autrice)

Inoltre, per poter ricoprire un'ampia area della chiesa, sono stati utilizzati dispositivi commerciali del tipo Parkside PKDL A1, denominati D#, da 1 a 10, in *Figura 27*, per un totale di 11 dispositivi impiegati nella campagna di monitoraggio microclimatico. Tutti sono stati settati per acquisire misure ogni dieci minuti, tempistica coerente con le norme di protezione dei beni culturali. Ai piedi della pala d'altare sono stati posizionati entrambe le tipologie di dispositivi, DCT e D0.

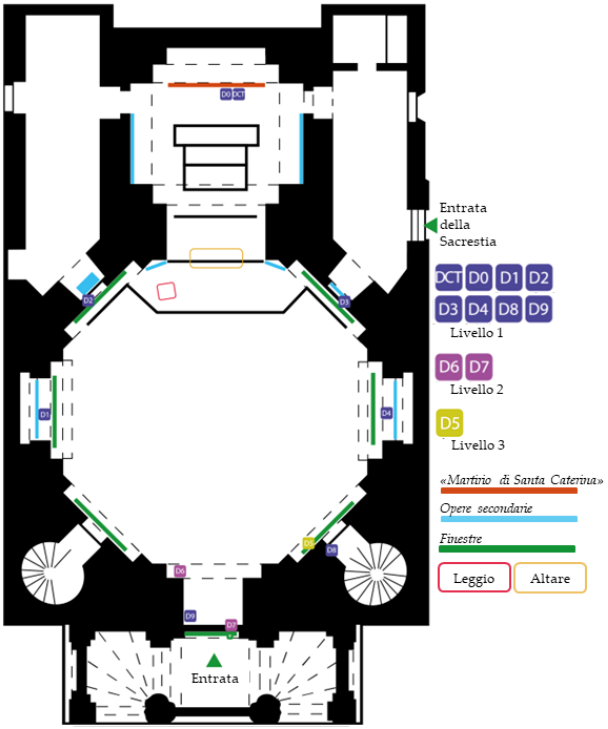
Caratteristiche tecniche PKDL A1	
Intervallo di misurazione	(T) da -30 °C a 70 °C (R) da 0 % a 100 %
Precisione	(T) ±5 °C (R) 2,5 %
Risoluzione	(T) ±0,1 °C (R) 0,1 %

Figura 27 Dispositivo Parkside PKDL A1 e le sue caratteristiche tecniche (immagine proprietaria realizzata da S. Rapisarda)

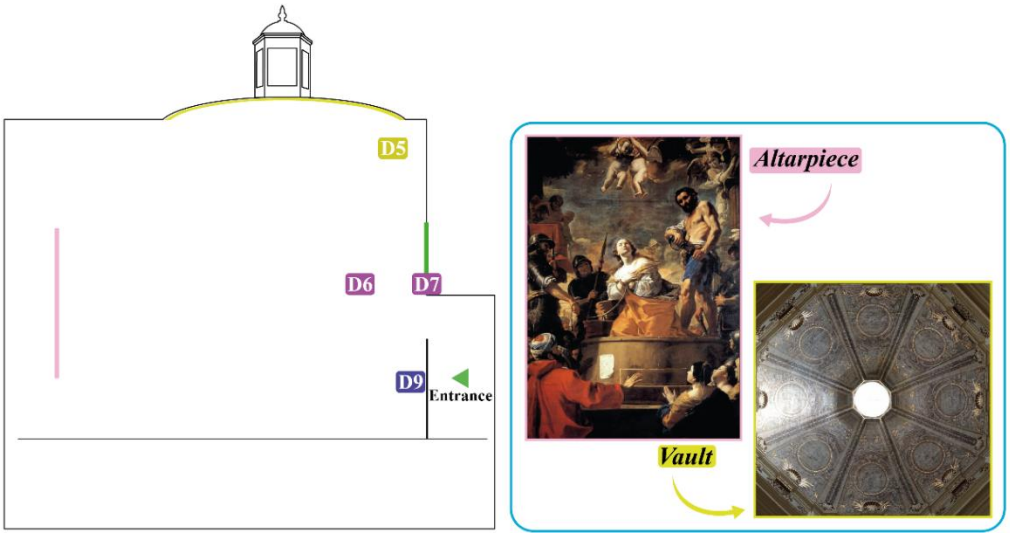
Tutti i sensori sono stati posizionati in punti strategici, visibili in *Figura 28a e 28b*, in modo da avere un quadro generale delle variazioni all'interno della chiesa, anche a differenti altezze:

- ***nel livello 1***, dove i fedeli si riuniscono durante la messa e/o gli eventi, sono stati posizionati *DCT, D0, D1, D2, D3, D4, D8, D9;*
- ***nel livello 2,*** dove si trova la finestra che non viene mai chiusa, sono stati posizionati *D6 e D7;*
- ***nel livello 3,*** dove si trova la base della volta, è stato posizionato *D5*.

La posizione strategica del dispositivo D7 è stata scelta per poter avere un confronto tra il microclima interno e il clima esterno, confrontando le variazioni presenti all'interno della chiesa è infatti possibile comprendere la correlazione con l'ambiente esterno.



(a)



(b)

Figura 28 Pianta (a) e sezione sx (b) della Chiesa di Santa Caterina con opere e rispettiva disposizione dei dispositivi (immagini proprietarie realizzate da S. Rapisarda)

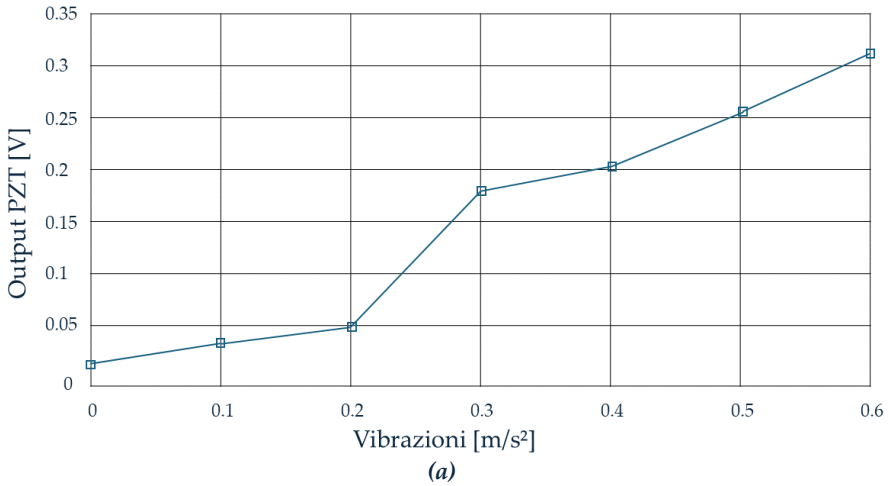
Le caratteristiche del dispositivo di tipo D fornite dal costruttore, riportate anche in *Figura 27*, sono rispettivamente un range di misura della temperatura da -30 °C a 70 °C, un range di misura dell'umidità relativa dallo 0 % al 100 %, con una precisione di ±0.5 °C/±2.5 % ed una risoluzione di 0.1 °C/0.1 %.

Le differenze sostanziali tra i due dispositivi riguardano la durata della batteria e il recupero dei dati. Infatti, il DCT adottato è in grado di ricaricare la propria batteria

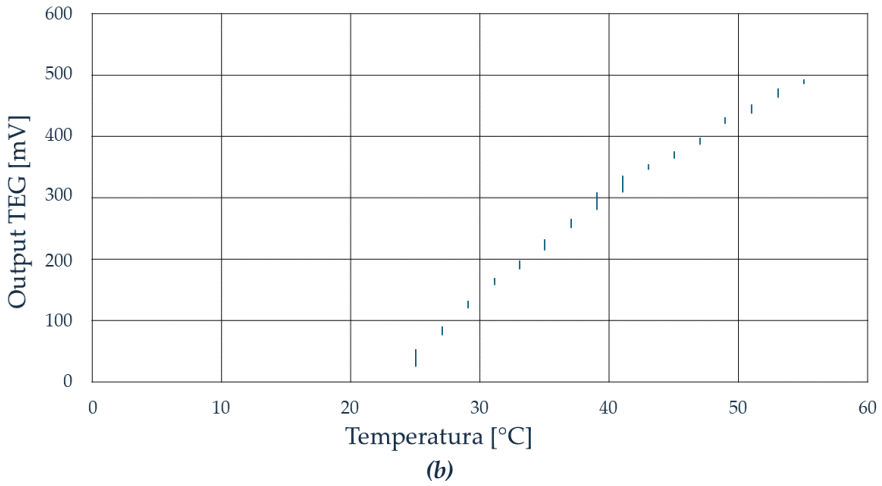
tramite vibrazioni e variazioni di temperatura, permettendo all'operatore di recuperare i dati tramite un'applicazione per dispositivi smart (cellulari, iPad, ecc.). Sensor Blue, invece, consente l'esportazione di file .CSV (Comma-Separated Values), che vengono scaricati tramite Bluetooth® e possono essere graficati utilizzando software come Origin®.

I dispositivi D richiedono un ricambio frequente della batteria, almeno una volta al mese, e per importare i dati devono essere collegati a un PC tramite ingresso USB, come visibile in *Figura 27*. Da non trascurare è l'utilizzo, durante i mesi più caldi, di sei o quattro ventilatori posizionati ai piedi degli altari minori. In sintesi, l'utilizzo combinato del dispositivo DCT, dell'applicazione Sensor Blue e del software Origin® ha rappresentato una soluzione completa e integrata per la raccolta, l'elaborazione e l'analisi dei dati, permettendo agli operatori di ottenere informazioni dettagliate in modo semplice ed efficiente.

La fase che ha preceduto l'utilizzo *in situ* ha riguardato la caratterizzazione del dispositivo DCT, concentratasi sulle componenti stand-alone. I risultati delle loro prestazioni sono stati presentati rispettivamente per le variazioni di vibrazioni in *Figura 29a* e per le variazioni di temperatura in *Figura 29b*.



(a)



(b)

Figura 29 Risultati della caratterizzazione dei PZT (a) e del TEG (b).

Le analisi sono state effettuate utilizzando due differenti dispositivi, un agitatore *TIRA Modal Vibration Test System TV 51110*, adatto ad imporre vibrazioni note ed un piatto caldo *Torrey Pines scientific, Fully Programmable Digital Stirring Hot Plate HS40*, adatto per effettuare riscaldamenti a temperature note. Di conseguenza sono state esplorate le potenzialità di misura del dispositivo che è in grado di misurare un range di misura della temperatura da 20 °C a 60 °C e un range di misura dell'umidità relativa dallo 0 % al 99 % con un'incertezza di ±0.5 °C/±5 %.

Il lavoro svolto ha permesso di validare il dispositivo DCT e di effettuare due differenti confronti: il primo ha riguardato il microclima percepito e i parametri microclimatici misurati dai dispositivi DCT e D0, entrambi posizionati ai piedi della pala d'altare; il secondo ha riguardato il confronto tra DCT, D0 e D7, con l'obiettivo di capire se le variazioni fossero correlate al clima esterno. I confronti sono stati divisi in due periodi e rappresentati in *Figura 30*, il primo periodo va dal 22/10/2023 al 19/12/2023 *Figura 30a* per quanto riguarda la temperatura e *Figura 30b* per quanto riguarda l'umidità relativa. Il secondo periodo va dal 30/01/2024 al 03/03/2024 *Figura 30c* per quanto riguarda la temperatura e *Figura 30d* per quanto riguarda l'umidità relativa.

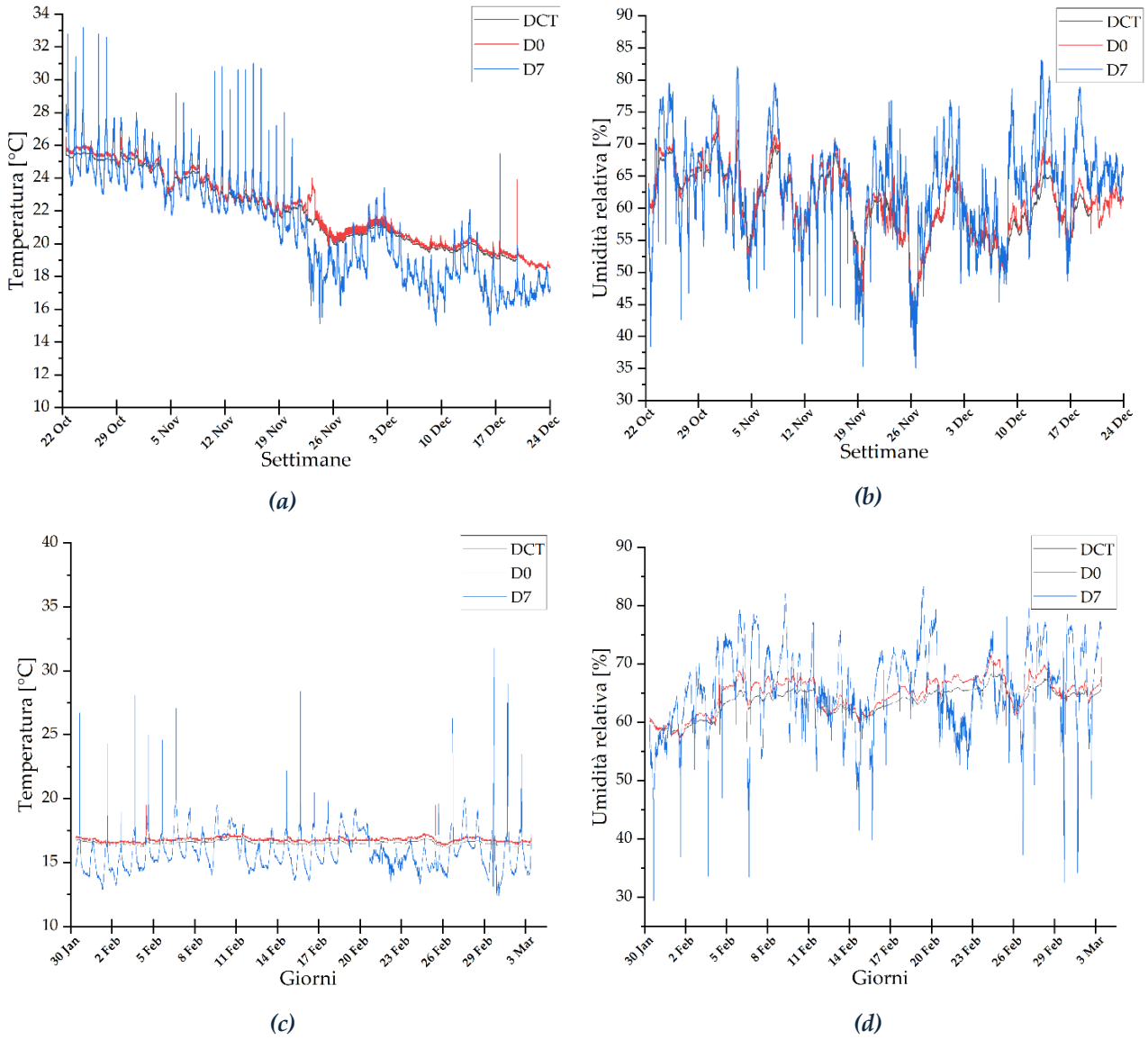


Figura 30 Andamento di temperatura (a-c) e umidità relativa (b-d) acquisiti dai sensori DCT, D0 e D7 nei due differenti periodi.

In *Tabella 13* vengono presentati alcuni degli andamenti dei tre dispositivi relativamente alle misure finalizzate a quantificare le variazioni che si sono presentate durante la campagna di misure sia in presenza che in assenza di fruitori.

Tabella 13 Andamento della temperatura e dell'umidità relativa rilevato con DCT D0 e D7 in presenza ed assenza di fruitori.

	Data e ora	*Fruitori*	*Dispositivi*	*T [°C]*	*RH [%]*
T_1	*29.10.2023 10:34*	*200*	**DCT**	*25.3*	*67.5*
			D0	*25.8*	*68.3*
			D7	*26.0*	*62.6*
T_2	*31.10.2023 14:04*	*0*	**DCT**	*25.4*	*74.3*
			D0	*25.7*	*74.3*
			D7	*27.2*	*70.0*
T_3	*05.11.2023 10:34*	*120*	**DCT**	*23.9*	*59.1*
			D0	*24.4*	*60.1*
			D7	*24.7*	*57.1*
T_4	*11.11.2023 05:04*	*0*	**DCT**	*22.7*	*55.3*
			D0	*22.7*	*53.5*
			D7	*21.9*	*54.1*
T_5	*14.12.2023 15:24*	*0*	**DCT**	*19.9*	*64.3*
			D0	*20.0*	*64.9*
			D7	*19.8*	*67.0*
T_6	*30.01.2024 18:04*	*30*	**DCT**	*16.7*	*59.4*
			D0	*16.9*	*59.3*
			D7	*15.0*	*52.2*
T_7	*11.02.2024 07:14*	*0*	**DCT**	*16.8*	*65.6*
			D0	*17.0*	*67.4*
			D7	*15.6*	*77.0*
T_8	*03.02.2024*	*160*	**DCT**	*16.9*	*79.3*
			D0	*16.6*	*71.1*
			D7	*17.0*	*76.3*

Grazie al posizionamento dei dispositivi D# è stato eseguito un monitoraggio più ampio della Chiesa; infatti, mediante l'analisi delle acquisizioni dei dispositivi impiegati nella campagna, sia in termini di temperatura che in termini di umidità relativa, presentati in *Figura 31a e 31b* è stato possibile avere un quadro completo del microclima interno confrontabile con il clima esterno.

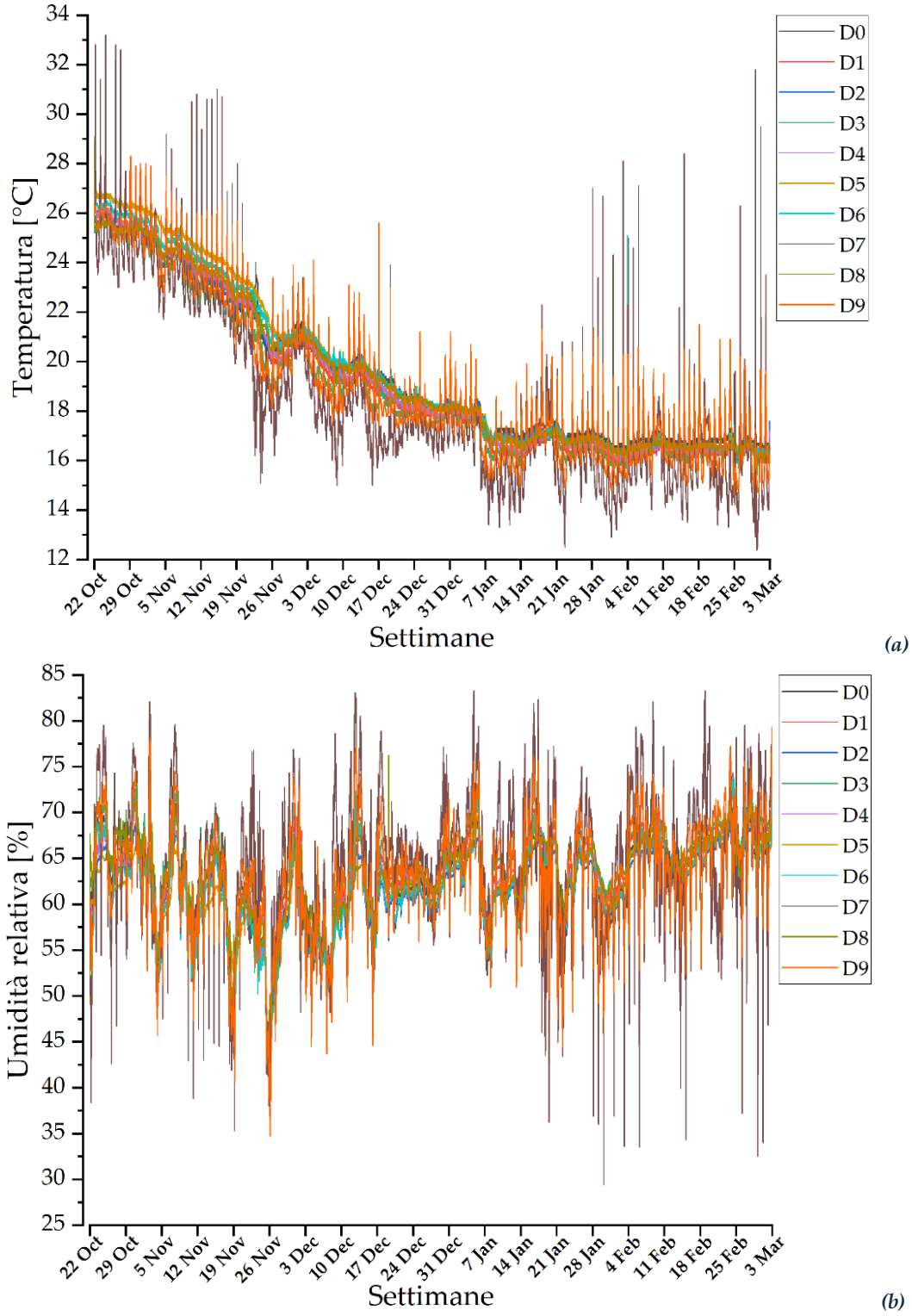


Figura 31 Andamento di temperatura (a) e umidità relativa (b) per i sensori commerciali D.

Oltre alla campagna di misurazioni eseguita con i dispositivi sopra citati, sono stati acquisiti dati relativi alle condizioni di illuminamento all'interno della chiesa. Questo tipo di misurazione è stato eseguito tramite un'applicazione per dispositivi smart, come cellulari e iPad, chiamata Fotometro LM-3000, per la quale è dichiarato un

margine di errore del 12%. I dati presentati nella *Tabella 14* e graficati in *Figura 32a 32b e 32c*, sono stati raccolti in tre differenti condizioni di illuminamento:

- ***luce artificiale,*** nelle ore diurne in *Tabella 14a*;
- ***luce artificiale***, nelle ore pomeridiane in *Tabella 14c*;
- ***luce naturale,*** nelle ore diurne in *Tabella 14b*.

Tabella 14 Risultati di illuminometria di tre differenti set-up acquisiti con Fotometro LM-3000.

Domenica 22 Ottobre 2023		
Device	*Hours*	*Lux*
DCT	11:32	10.0
D0		
D1	11:35	59
D2	11:36	42
D3	11:37	32
D4	11:38	53
D5	11:46	124
D6	11:50	33
D7	11:51	801
D8	11:43	0.39
D9	11:40	174

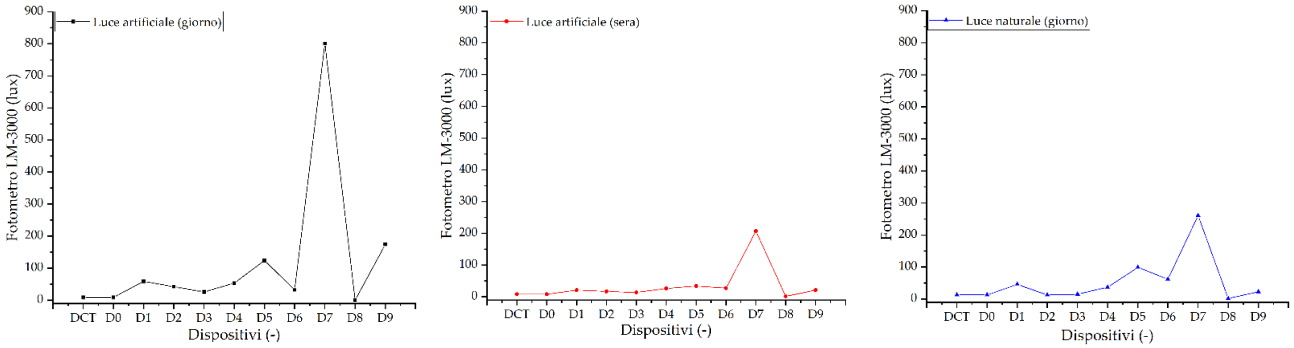
(a)

Martedì 19 Dicembre 2023		
Device	*Hours*	*Lux*
DCT	17:45	8
D0		
D1	17:48	21
D2	17:49	17
D3	17:52	14
D4	17:54	26
D5	18:59	34
D6	18:50	27
D7	18:53	207
D8	17:58	1.7
D9	18:00	21

(b)

Domenica 4 Febbraio 2024		
Device	*Hours*	*Lux*
DCT	10:09	13
D0		
D1	11:34	46
D2	11:34	13
D3	11:33	15
D4	11:32	37
D5	10:07	99
D6	10:03	62
D7	10:04	261
D8	10:03	1.5
D9	10:01	23

(c)



(a) ***(b)*** ***(c)***

Figura 32 Risultati ottenuti con Fotometro LM-3000 con luce artificiale di giorno (a), luce artificiale di sera (b) e luce naturale (c).

La caratterizzazione prima in laboratorio e la validazione in un secondo momento all'interno della chiesa di Santa Caterina d'Italia, ha permesso di individuare limiti e potenzialità delle caratteristiche del dispositivo DCT, per l'utilizzo in spazi confinati. Il confronto tra i due dispositivi, DCT e D, è stato utile per comprenderne le potenzialità. Grazie alle sue caratteristiche *eco-friendly* e smart, il dispositivo DCT si è rivelato una scelta valida per l'implementazione nei luoghi deputati all'arte. In particolare, dove non è possibile collegarsi alla corrente elettrica, il DCT permette di ridurre al minimo l'uso di batterie e la manutenzione, grazie alla capacità di

energizzare il nodo di misura recuperando energia dall'ambiente circostante. Il dispositivo, infatti, grazie al meccanismo di energy harvesting ibrido, è in grado di generare pochi μW, sufficienti a rimanere attivo.

I dati ottenuti risultano essere fondamentali per attuare un piano di protezione per le opere d'arte all'interno della chiesa; infatti, avvalendosi della norma *UNI EN 15759-1* e proseguendo le misure per coprire almeno un anno di analisi, verranno stabilite delle strategie ad hoc per la conservazione dei beni presenti all'interno della chiesa.

Best practices per il monitoraggio microclimatico

Le due campagne di misura indoor effettuate con l'ausilio di dispositivi *eco-friendly*, hanno dato modo di stilare una serie di quesiti utili per la realizzazione di una piattaforma online che permette di individuare le strategie più adatte ad un monitoraggio microclimatico ottimale. Conoscere il luogo entro il quale effettuare la campagna di misure, studiare i punti critici e cercare di coprire in maniera omogenea, coerente ed ampia, la maggior parte dell'area di studio, tenendo sempre in considerazione il numero di apparati che si hanno a disposizione. Dopo aver analizzato e studiato la problematica che si ritrova nel luogo, i quesiti utili per un monitoraggio ottimale sono stati differenziati in quattro diverse categorie: *sito, opere, fruitori e dispositivi*.

Sito:

1) Qual è la posizione geografica del sito da monitorare?
2) Quali sono le norme di interesse per la tipologia di campagna?
3) Quale luogo bisogna monitorare?
4) Quali aperture permettono lo scambio tra clima interno ed esterno?
5) Quali sono i giorni e gli orari in cui il sito è reso fruibile ai visitatori?
6) Quali sono gli eventi straordinari in cui il sito viene aperto al pubblico?
7) Quali sono punti in cui la luce esterna riesce ad insediarsi all'interno?
8) Quali radiazioni UV vengono schermate nelle finestre?
9) Sono presenti impianti HVAC?

Opere:

1) Quali sono le opere più importanti del sito?
2) Quali sono le condizioni di conservazione dell'opera prima di iniziare la campagna?
3) Qual è la natura dei materiali che compongono le opere da monitorare?

Fruitori:

1) Quante persone mediamente occupano il sito?
2) Quali sono i luoghi in cui le persone stazionano più tempo?
3) Quali sono i luoghi più frequentati?

Dispositivi:

1) Quali sono i parametri fisici che ci interessa indagare?
2) Quanti dispositivi si hanno a disposizione?
3) Quali sono gli intervalli di tempo ottimali da utilizzare per la campagna?
4) Quanto tempo può durare la campagna di misura?
5) Quali sono le sorgenti luminose utilizzate nel sito da monitorare?
6) Quante sono le ore di luce naturale/artificiale alla quale viene esposto il sito?

Inoltre, è buona pratica creare: una cartella con quante più foto possibili del sito, in modo da poter avere un quadro visivo iniziale degli spazi e delle opere e ricreare un reticolato, orizzontale e verticale, tramite la planimetria del sito.

Nei due casi studio descritti, sono stati considerati molti dei fattori precedentemente descritti. L'insieme di tutte queste informazioni ha permesso e permette ancora oggi di realizzare monitoraggi microclimatici sempre più completi ed esaustivi per la conservazione del patrimonio artistico e culturale.

Bibliografia Capitolo 4 – Monitoraggio *in situ* con soluzioni alternative

- Camuffo, D., et al. "Showcases: a really effective mean for protecting artworks? " Thermochimica acta 365.1-2 (2000): 65-77.
- Camuffo, D., et al. "Microclimate Analysis of Outdoor Showcases in Tropical Climate—Two Case Studies in Al Ain, Abu Dhabi, United Arab Emirates." Climate 12.1 (2024): 6.
- Castello ursino (bing.com) (consultato in data 25/06/2024)
- Ceravolo, R., et al. "Vibration-based monitoring and diagnosis of cultural heritage: a methodological discussion in three examples." International Journal of Architectural Heritage 10.4 (2016): 375-395.
- Fotometro LM-3000 su App Store (apple.com) (consultato il 30/09/2024)
- Melchor-Martínez, E. M., et al. "Environmental impact of emerging contaminants from battery waste: A mini review." *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 3 (2021): 100104.
- Castello Ursino (comune.catania.it) (consultato in data 25/06/2024).
- Manuale dispositivo - Parkside PKDL A1 (lidl.it) (consultato il 30/09/2024)
- Moheimani, S. R., et al. Piezoelectric transducers for vibration control and damping. Springer Science & Business Media, 2006.
- Ritratto di Gentiluomo El greco - Cerca Immagini (bing.com) (consultato in data 25/06/2024)
- Rojas, J. P., et al. "Micro and nano-engineering enabled new generation of thermoelectric generator devices and applications." *ECS Journal of Solid State Science and Technology* 6.3 (2017): N3036.

Conclusioni e Prospettive

Il lavoro realizzato ha permesso di esplorare in modo approfondito le tecnologie di monitoraggio microclimatico, concentrandosi su una gamma di strumenti e approcci volti a garantire la conservazione preventiva dei beni culturali. In particolare, sono state analizzate sia soluzioni commerciali consolidate, che offrono misurazioni affidabili dei parametri fisici d'interesse come temperatura, umidità relativa e illuminamento, sia tecnologie innovative come i *living sensors*® e dispositivi autoalimentanti progettati presso l'Università di Catania.

I *living sensors*®, grazie alle loro proprietà distintive, si sono rivelati strumenti altamente efficaci per l'utilizzo in ambienti confinati. Questi dispositivi, oltre a essere *eco-friendly*, biodegradabili e perfettamente integrabili con l'ambiente circostante, offrono la capacità di assorbire e trattenere la CO_2 presente nell'area circostante. Queste caratteristiche intrinseche li rendono una soluzione innovativa e sostenibile per il monitoraggio ambientale. Durante le campagne di misura effettuate, sono stati ottenuti risultati incoraggianti, il che ha evidenziato le potenzialità dei dispositivi utilizzati ma sono emerse anche alcune limitazioni che richiedono un'analisi approfondita. In particolare, l'utilizzo in ambienti outdoor ha evidenziato la necessità di attenzionare le metodologie operative, poiché temperature superiori a 45° C potrebbero arrecare danni. Inoltre, il monitoraggio che questi sensori possono garantire è circoscritto a un periodo massimo tra i 12 e i 18 mesi; trascorso questo tempo, sebbene la crescita della pianta sia minima, le sue caratteristiche fisiologiche subiscono variazioni tali da richiedere una nuova calibrazione. La pianta, infatti, si comporterebbe come un dispositivo diverso rispetto a quello inizialmente caratterizzato.

In prospettiva, ulteriori sviluppi potrebbero riguardare lo studio di altre tipologie di sensori viventi, come ad esempio rose, felci etc, che si presentano come candidati promettenti per un monitoraggio microclimatico sempre più accurato e meno invasivo

dell'ambiente, riducendo l'impatto delle tecnologie sull'integrità dei luoghi dell'arte. Questi approcci potrebbero ampliare significativamente la gamma di elementi a disposizione per garantire un controllo continuo e preciso dei microclimi interni, essenziale per la tutela del nostro patrimonio artistico e culturale.
I dispositivi autoalimentati rappresentano un'opportunità per mettere a punto sistemi di monitoraggio autonomi, riducendo la necessità di manutenzione e impatto energetico. L'applicazione *in situ* di queste tecnologie ha permesso di verificare direttamente le loro potenzialità nel contesto reale, dimostrando come possano contribuire efficacemente a preservare le opere d'arte e gli edifici storici, sensibili alle vibrazioni.

Le sperimentazioni condotte all'interno del *Museo Civico del Castello Ursino di Catania* e all'interno della *Chiesa di Santa Caterina a Malta*, hanno evidenziato che, sebbene le soluzioni commerciali siano ancora ampiamente utilizzate per la loro affidabilità, le tecnologie emergenti sono molto promettenti. Questi elementi rappresentano una sfida cruciale per il futuro della conservazione preventiva, con la possibilità di estendere l'utilizzo di tali soluzioni a un numero crescente di siti culturali, garantendo al contempo una tutela sempre più accurata e sostenibile del patrimonio.

L'adozione di queste nuove soluzioni rappresenta un cambio di paradigma della gestione dei luoghi e delle opere d'arte e una straordinaria opportunità per fondere approcci biologici e tecnologici, creando sinergie che possono migliorare significativamente l'efficacia della conservazione preventiva.
I dispositivi innovativi, oltre a garantire un monitoraggio continuo e affidabile, si allineano con gli obiettivi di sostenibilità ambientale, riducendo l'impatto energetico e i costi di manutenzione. Inoltre, la capacità di tali sensori di operare autonomamente li rende una soluzione ideale per contesti museali o siti di difficile accesso, dove il monitoraggio continuo è fondamentale ma la presenza costante di operatori non è garantita.

Il lavoro realizzato ha altresì permesso di individuare le *best practices* alla base di procedure per la realizzazione delle misure dei parametri fisici previsti in ogni campagna di monitoraggio microclimatico per la salvaguardia delle opere esposte in pinacoteche e in luoghi di culto.

È fondamentale individuare le problematiche specifiche, poiché è stata osservata una netta differenza nel monitoraggio dei due luoghi precedentemente esaminati. Nei musei, infatti, le aperture stagionali e gli eventi attraggono un elevato numero di visitatori, i quali possono causare variazioni di temperatura e umidità relativa non indifferenti, anche in presenza di appositi impianti HVAC. Gli orari di apertura e le condizioni esterne possono determinare anche notevoli variazioni dell'illuminamento. Nelle chiese le variazioni di tutti i parametri sono spesso settimanali o giornaliere, poiché l'affluenza dei fedeli si concentra durante i riti religioni, gli eventi di culto e le festività. In quest'ottica, il monitoraggio microclimatico dovrebbe essere continuo in entrambi i casi, piuttosto che limitarsi a singole campagne, anche se quest'ultima coprisse un intero anno.

Bibliografia

- Aste, N., et al. "Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage." Building and Environment 148 (2019): 240-257.
- Al-Sallal, K A., et al. "Indigenous buildings' use as museums: Evaluation of day-lit spaces with the Dreesheh double panel window." Sustainable Cities and Society 1.2 (2011): 116-124.
- Balocco, C., et al. "An experimental methodological approach aimed to preventive conservation and sustainable adaptive use of the cultural heritage." Procedia Structural Integrity 29 (2020): 25-33.
- Bienvenido-Huertas, D., et al. "Analysis of climate change impact on the preservation of heritage elements in historic buildings with a deficient indoor microclimate in warm regions." Building and Environment 200 (2021): 107959.
- Bienvenido-Huertas, D., et al. "Influence of special report on emissions scenarios and the representative concentration pathways scenarios on the preservation of churches with a deficient microclimate." Journal of Building Engineering 62 (2022): 105349.
- Boeri, A., et al. "Library Indoor microclimate monitoring with and without heating system. A bologna university library case study." Journal of Cultural Heritage 53 (2022): 143-153.
- Bonora, A., et al. "Historic Indoor Microclimate, the role of HVAC in heritage buildings' restoration: The case of the Palace of Venaria Reale." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2069. No. 1. IOP Publishing, (2021).
- Burdon-Sanderson, J. S. "I. Note on the electrical phenomena which accompany irritation of the leaf of Dionæa muscipula." *Proceedings of the Royal Society of London* 21.139-147 (1873): 495-496.
- Campobello, G., et al. "IoT-MHECHA: A new IoT architecture for Monitoring Health and Environmental parameters in Cultural Heritage and Archaeological sites." 2020 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage. International Measurement Confederation (IMEKO), 2020.
- Camuffo, D., et al. "Showcases: a really effective mean for protecting artworks? " Thermochimica acta 365.1-2 (2000): 65-77.
- Camuffo, D., et al. "The impact of heating, lighting and people in re-using historical buildings: a case study." Journal of Cultural Heritage 5.4 (2004): 409-416.
- Camuffo, D. "The friendly heating project and the conservation of the cultural heritage preserved in churches." Developments in Climate Control of Historic Buildings, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2011): 7-12.
- Camuffo, D. Microclimate for cultural heritage: Measurement, risk assessment, conservation, restoration, and maintenance of indoor and outdoor monuments. Elsevier, (2019).
- Camuffo, D., et al. "Microclimate Analysis of Outdoor Showcases in Tropical Climate—Two Case Studies in Al Ain, Abu Dhabi, United Arab Emirates." Climate 12.1 (2024): 6.
- Cataldo, R., et al. "Integrated methods for analysis of deterioration of cultural heritage: the Crypt of "Cattedrale di Otranto"." Journal of cultural heritage 6.1 (2005): 29-38.
- Ceravolo, R., et al. "Vibration-based monitoring and diagnosis of cultural heritage: a methodological discussion in three examples." International Journal of Architectural Heritage 10.4 (2016): 375-395.
- Ciferri, O. "The role of microorganisms in the degradation of cultural heritage." Studies in Conservation 47.sup1 (2002): 35-45.
- Corgnati, S. P., et al. "A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: Application to a temporary exhibit." Building and environment 44.6 (2009): 1253-1260.
- Darwin, C., et al. "The power of movement in plants." (1883).
- D'agostino, V., et al. "The museum environment: A protocol for evaluation of microclimatic conditions." Energy and Buildings 95 (2015): 124-129.

- D'Alvia, L., et al. "Development of wireless sensor network for museum environmental monitoring." Proceedings of the IMEKO International Conference on Metrology for Archeology and Cultural Heritage, Torino, Italy. (2016).
- De Graaf, T., et al. "Sustainable lighting of museum buildings." Renewable Energy 67 (2014): 30-34.
- del Hoyo-Meléndez, J. M., et al. "An evaluation of daylight distribution as an initial preventive conservation measure at two Smithsonian Institution Museums, Washington DC, USA." Journal of Cultural Heritage 12.1 (2011): 54-64.
- de Rubeis, T., et al. "The restoration of severely damaged churches–Implications and opportunities on cultural heritage conservation, thermal comfort and energy efficiency." Journal of Cultural Heritage 43 (2020): 186-203.
- Devalal, S., et al. "LoRa technology-an overview." 2018 second international conference on electronics, communication and aerospace technology (ICECA). IEEE, 2018.
- Fabbri, K., et al. "Two new indices for preventive conservation of the cultural heritage: Predicted risk of damage and heritage microclimate risk." Journal of Cultural Heritage 47 (2021): 208-217.
- Farke, M., et al. "Light damage to selected organic materials in display cases: A study of different light sources." Studies in Conservation 61.sup1 (2016): 83-93.
- Frasca, F., et al. "Assessment of indoor climate of Mogiła Abbey in Kraków (Poland) and the application of the analogues method to predict microclimate indoor conditions." Environmental Science and Pollution Research 24 (2017): 13895-13907.
- Frasca, F., et al. "Strategies for the deployment of microclimate sensors in spaces housing collections." Heritage Science 10.1 (2022): 200.
- Fromm, J., et al. "Electrical signals and their physiological significance in plants." *Plant, cell & environment* 30.3 (2007): 249-257.
- García-Diego, F.J., et al. "Microclimate monitoring by multivariate statistical control: The renaissance frescoes of the Cathedral of Valencia (Spain)." Journal of cultural heritage 11.3 (2010): 339-344.
- Hassan, M.H.A., et al. "Phytochemical constituents and biological activity of selected genera of family Crassulaceae: A review." *South African Journal of Botany* 141 (2021): 383-404.
- Jagielska-Burduk, A., et al. "Cultural heritage education in UNESCO cultural conventions." Sustainability 13.6 (2021): 3548.
- Kaya, S. M., et al. "Effects of daylight design features on visitors' satisfaction of museums." Indoor and Built Environment 27.10 (2018): 1341-1356.
- Laghari, A. A., et al. "A review and state of art of Internet of Things (IoT)." Archives of Computational Methods in Engineering (2021): 1-19.
- Leissner, J., et al. "Climate for Culture: Assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations." Heritage Science 3 (2015): 1-15.
- Lobo, M. A., et al. "Electrical sensing of the plant Mimosa pudica under environmental temperatures." 2023 IEEE 7th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG). IEEE, (2023).
- Lucchi, E. "Review of preventive conservation in museum buildings." Journal of Cultural Heritage 29 (2018): 180-193.
- Maksimović, M., et al. "Preservation of cultural heritage sites using IoT." 2019 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH). IEEE, 2019.
- Mckoy, D. R., et al. "Review of HVAC systems history and future applications." Energies 16.17 (2023): 6109.
- Melchor-Martínez, E. M., et al. "Environmental impact of emerging contaminants from battery waste: A mini review." *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 3 (2021): 100104.
- Moheimani, S. R., et al. Piezoelectric transducers for vibration control and damping. Springer Science & Business Media, 2006.

- Moretti, E., et al. "Microclimatic monitoring for book heritage preservation in historic buildings: preliminary investigation on "Sala del Dottorato" in Palazzo Murena, Perugia, Italy." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 949. No. 1. IOP Publishing, (2020).
- Napp, M., et al. "Energy use and indoor climate of conservation heating, dehumidification and adaptive ventilation for the climate control of a mediaeval church in a cold climate." Energy and Buildings 108 (2015): 61-71.
- Niechayev, N. A., et al. "Understanding trait diversity associated with crassulacean acid metabolism (CAM)." *Current Opinion in Plant Biology* 49 (2019): 74-85.
- Padfield, T. "The role of standards and guidelines: Are they a substitute for understanding a problem or a protection against the consequences of ignorance? " Durability and change: The science, responsibility and cost of sustaining cultural heritage (1994): 191-99.
- Pioppi, B., et al. "Cultural heritage microclimate change: Human-centric approach to experimentally investigate intra-urban overheating and numerically assess foreseen future scenarios impact." Science of the Total Environment 703 (2020): 134448.
- Poljak, M., et al. "Microclimatic monitoring—the beginning of saving historical sacral buildings in Europe." Energies 16.3 (2023): 1156.
- Radulescu, C., et al. "Seasonal Variability in the Composition of Particulate Matter and the Microclimate in Cultural Heritage Areas." Atmosphere 10.10 (2019): 595.
- Ramírez, S., et al. "A methodology for discriminant time series analysis applied to microclimate monitoring of fresco paintings." Sensors 21.2 (2021): 436.
- Ramya, C. M., et al. "Study on ZigBee technology." 2011 3rd international conference on electronics computer technology. Vol. 6. IEEE, 2011.
- Rojas, J. P., et al. "Micro and nano-engineering enabled new generation of thermoelectric generator devices and applications." *ECS Journal of Solid State Science and Technology* 6.3 (2017): N3036.
- Rosina, E., et al. "Microclimate monitoring of Historical Buildings: The case study of San Romerio Church (Italy)." art'21 13th international conference on non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage. ARG, (2021).
- Sciurpi, F., et al. "Environmental monitoring and microclimatic control strategies in "La Specola" museum of Florence." Energy and Buildings 95 (2015): 190-201.
- Schito, E., et al. "A procedure for identifying chemical and biological risks for books in historic libraries based on microclimate analysis." Journal of Cultural Heritage 37 (2019): 155-165.
- Sileo, M., et al. "Low-cost monitoring approach for the conservation of frescoes: The crypt of St. Francesco d'Assisi in Irsina (Basilicata, Southern Italy)." Journal of Cultural Heritage 23 (2017): 89-99.
- Silva, H. E., et al. "Microclimatic analysis of historic buildings: A new methodology for temperate climates." Building and Environment 82 (2014): 381-387.
- Silva, H. E., et al. "Climate monitoring in World Heritage List buildings with low-cost data loggers: The case of the Jerónimos Monastery in Lisbon (Portugal)." Journal of Building Engineering 28 (2020): 101029.
- Spagnuolo, A., et al. "RE-SEMIRTO project: An innovative network of wireless sensors for microclimate monitoring on the Royal Palace of Carditello." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2204. No. 1. IOP Publishing, 2022.
- Tan, H., et al. "Review of lighting deterioration, lighting quality, and lighting energy saving for paintings in museums." Building and Environment 208 (2022): 108608.
- Thomson, G. "Contributions to the London Conference on museum climatology, 18-23 September 1967." (No Title) (1968).
- Trigona, C., et al. "A Plant-Based Sensor for UV-A radiation measurements." 2021 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference I2MTC. IEEE, (2021).

- Trigona, C. "Living sensors: The greenest paradigm in instrumentation and measurements." *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine* 26.1 (2023): 35-41.
- Trigona, C, et al. "A "Living Sensor" Based on Sansevieria Plant for Measurement of UV-A Radiation." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 72 (2023): 1-10.
- Trigona, C, et al. "Structural Holding Monitoring and Microclimate Measurements in Museum Showcases." 2023 20th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD). IEEE, 2023.
- Trigona, C, et al. "St. Catherine's Church, Valletta, Malta: A Self-Powered Measurement System for Preventive Conservation." 2024 21st International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD). IEEE, 2024.
- Volkov, A. G., et al. "Mimosa pudica: electrical and mechanical stimulation of plant movements." *Plant, cell & environment* 33.2 (2010): 163-173.
- Vuerich, E., et al. "Indoor measurements of microclimate variables and ozone in the church of San Vincenzo (Monastery of Bassano Romano—Italy): A pilot study." Microchemical Journal 88.2 (2008): 218-223.
- Wang, Qiuran, et al. "Sowing the seeds of intentionality: Motor intentions in plants." *Plant Signaling & Behavior* 16.11 (2021): 1949818.

Sitografia

- ASE S.r.l. - Advanced Slope Engineering (aseltd.eu) (consultato il 6 Maggio 2024).
- Castello ursino - Immagine (bing.com) (consultato in data 25/06/2024).
- Castello Ursino (comune.catania.it) (consultato in data 25/06/2024).
- Criptocromo - Enciclopedia - Treccani (consultato il 28/11/2024).
- Dimorphotheca ecklonis (bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Dionaea muscipula (bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Fotometro LM-3000 su App Store (apple.com) (consultato il 30/09/2024).
- IEC 60050 - Vocabolario elettrotecnico internazionale(electropedia.org) (consultato il 4 ottobre 2024).
- Isteresi - Significato ed etimologia - Vocabolario - Treccani (consultato il 6 agosto 2024).
- Manuale dispositivo - Parkside PKDL A1 (lidl.it) (consultato il 30/09/2024).
- Mimosa pudica(bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Precise Colour Communication booklet | KONICA MINOLTA (consultato il 6 Maggio 2024).
- Redox - Enciclopedia - Treccani (consultato il 19 giugno 2024).
- Ritratto di Gentiluomo El greco - Cerca Immagini (bing.com) (consultato in data 25/06/2024).
- Sansevieria cylindrica velvet touch blu (bing.com) (consultato il 30/09/2024).
- Sensori - Enciclopedia - Treccani (consultato il 14 giugno 2024).
- Tropismo - Significato ed etimologia - Vocabolario - Treccani (consultato il 5 agosto 2024).
- UNI - Ente Italiano di Normazione (consultato il 20-06-2024)

Appendice

Normativa di riferimento

Norma in materia di Beni culturali

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
UNI 7310:1974	***Cartografia urbana. Rappresentazione convenzionale di aggregati urbani storici prevalentemente caratterizzati da edilizia multipiana***	*Fornisce la simbologia convenzionale da usarsi per la cartografia destinata alla rappresentazione grafica della consistenza architettonica, urbanistica e monumentale degli aggregati urbani storici aventi una configurazione prevalentemente caratterizzata da edilizia multipiana (con più di due piani fuori terra). È applicabile nel rilievo di rioni storici e, in generale, di aggregazioni edilizie caratterizzanti il paesaggio nell'ambito concettuale dei beni culturali. Il campo di applicazione della norma è stato limitato agli aggregati caratterizzati prevalentemente da edilizia multipiana e quindi a spiccata fisionomia urbana; la rappresentazione degli aggregati con prevalente edilizia bassa (1 o 2 piani) sarà oggetto di altra norma. La simbologia grafica ha valida applicazione nel campo compreso tra le scale 1:250 e 1:2500, a condizione che i mezzi di disegno e di riproduzione litografica e tipografica conseguano le necessarie nitidezze e incisività. La grafia si presta, oltre che al rilievo diretto di edilizia esistente, anche al rilievo congetturale di edilizia non più esistente, condotto attraverso l'esame filologico di documentazioni e di rappresentazioni di rilievo o di progetto. Tale grafia si presta inoltre alla rappresentazione di rioni storici. I segni adottati sono allusivi di concrete di progetti urbanistici di ampliamenti o di ristrutturazioni strutture architettoniche nell' accezione più ampia e ricorrono promiscuamente come simboli stereometrici, volumetrici, proiettivi, distributivi. I rilievi consistono in piante, intese come proiezioni condotte sia verso l'alto (pavimenti, pedate di scale, pianerottoli, ecc.) sia verso il basso (volte, cupole, cornicioni interni ed esterni,). Convenzioni e segni grafici. Esempi di applicazione: rappresentazione di fatti*
UNI 10739:1998	***Beni culturali - Tecnologia ceramica - Termini e definizioni***	*La norma ha lo scopo di stabilire i termini e le relative definizioni riguardanti i materiali ceramici. Essa fornisce le definizioni ad essi applicabili in relazione alla tecnologia di fabbricazione con particolare riferimento a materie prime, tecniche, procedimenti, operazioni, strumenti, prodotti e difetti.*
UNI 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***	*La norma definisce un metodo di prova per la verifica della presenza di microrganismi fotosintetici su materiali lapidei.*

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
UNI 10829:1999	***Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi***	*La norma prescrive una metodologia per la misurazione in campo delle grandezze ambientali termo-igrometriche e di illuminazione ai fini della conservazione di beni di interesse storico e artistico e fornisce indicazioni relative alle modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati per una loro valutazione finalizzata al contenimento dei processi di degrado.*
UNI 10922:2001	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di sezioni sottili e sezioni lucide di materiali lapidei colonizzati da biodeteriogeni***	*La norma definisce un metodo per la preparazione di sezioni sottili e lucide di materiali lapidei colonizzati da microrganismi e organismi.*
UNI 10923:2001	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Allestimento di preparati biologici per l'osservazione al microscopio ottico***	*La norma definisce i metodi per l'allestimento di preparati biologici a fresco, fissati, colorati, utili per l'osservazione di biodeteriogeni al microscopio ottico.*
UNI 10925:2001	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'irraggiamento con luce solare artificiale***	*La norma stabilisce un metodo per l'esposizione in laboratorio di provini di materiali lapidei a sorgenti luminose rappresentative dell'irraggiamento solare. L'irraggiamento è finalizzato alla valutazione delle variazioni di caratteristiche dei materiali, indotte dalla luce solare. La norma si applica ai materiali lapidei naturali ed artificiali, sia trattati sia non trattati.*
UNI 10945:2001	***Beni culturali - Caratterizzazione degli strati pittorici - Generalità sulle tecniche analitiche impiegate***	*La norma elenca le metodologie analitiche per la identificazione degli strati pittorici su materiali lapidei.*
UNI 11060:2003	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti***	*La norma descrive alcuni metodi per la determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti dei materiali lapidei naturali ed artificiali, macinati in polvere, granulari o in pezzatura.*
EC 1-2004 UNI 11060:2003	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione della massa volumica e della percentuale di vuoti***	*Errata corrige 1 del 03-03-2004 alla UNI 11060:2003*
UNI 11084:2003	***Beni culturali - Materiali ceramici -Caratterizzazione***	*La norma indica le principali caratteristiche mineralogiche, fisiche e chimiche dei materiali ceramici determinabili in laboratorio.*
UNI 11085:2003	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione del contenuto d'acqua: Metodo ponderale***	*La norma descrive le procedure per la determinazione, con il metodo ponderale, del contenuto d'acqua in un campione di materiale lapideo. Il metodo si applica a campioni di massa compresa tra 2 g e 50 g.*
UNI 11086:2003	***Beni culturali - materiali lapidei naturali ed artificiali - determinazione del contenuto d'acqua di equilibrio***	*La norma stabilisce un metodo per la determinazione del contenuto d'acqua di equilibrio in un campione di materiale lapideo. Il metodo si applica a campioni di massa compreso tra 2 g e 50 g.*

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
UNI 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***	*La norma definisce un metodo chimico di analisi per la determinazione del contenuto di aggregato siliceo o silicatico di una malta, del contenuto di alcune specie chimiche caratteristiche solubilizzate da un attacco acido blando ed espresse come SiO2, CaO, MgO, Al2O3, Fe2O3, SO3, K2O, Na2O e per determinare la perdita di massa a varie temperature. Il metodo è applicabile alle malte utilizzate nell'ambito delle costruzioni e degli edifici di interesse culturale e ambientale. La norma è applicabile anche al campo più esteso degli edifici e delle costruzioni antiche non vincolate.*
UNI 11089:2003	***Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte***	*La norma stabilisce alcune procedure di calcolo per la stima del tenore dei principali costituenti merceologici (leganti e aggregati) di malte di composizione semplice.*
EC 1-2009 UNI 11089:2003	***Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Stima della composizione di alcune tipologie di malte***	*Errata Corrige alla UNI 11089:2003 del 23-04-2009*
UNI 11118:2004	***Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose***	*La norma descrive i criteri ed i limiti per l'identificazione della specie legnosa su manufatti e reperti di interesse storico, artistico ed archeologico.*
UNI 11119:2004	***Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera***	*La norma stabilisce obiettivi, procedure e requisiti per la diagnosi dello stato di conservazione e la stima della resistenza e della rigidezza di elementi lignei in opera nelle strutture portanti di edifici compresi nell'ambito dei beni culturali, attraverso l'esecuzione di ispezioni in situ e l'impiego di tecniche e metodologie di prova non distruttive.*
UNI 11121:2004	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione in campo del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio***	*La norma definisce un metodo rapido per la determinazione in campo del contenuto di acqua in un campione di materiale lapideo.*
UNI 11130:2004	***Beni culturali - Manufatti lignei - Terminologia del degradamento del legno***	*La norma definisce i termini e le relative definizioni riguardanti il degradamento dei manufatti lignei. Essa fornisce le definizioni applicabili al degrado in relazione alle sue tipologie e alle sue cause.*
UNI 11138:2004	***Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi***	*La norma fornisce indicazioni sui criteri da seguire per la valutazione preventiva, l'elaborazione dei progetti e l'eventuale esecuzione di interventi volti alla conservazione, manutenzione, restauro di manufatti lignei costituenti elementi portanti di edifici di interesse culturale.*
UNI 11139:2004	***Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera***	*La norma descrive dei metodi per la determinazione della calce libera e della magnesia libera nei materiali lapidei artificiali e nelle calci aeree o idrauliche.*
EC 1-2009 UNI 11139:2004	***Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera***	*Errata Corrige 1 alla UNI 11139:2004 del 27-05-2009*

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
UNI 11140:2004	***Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica***	*La norma descrive dei metodi per la determinazione del contenuto di anidride carbonica (CO2) proveniente dai carbonati presenti nei materiali lapidei artificiali e nelle calci aeree o idrauliche.*
EC 1-2009 UNI 11140:2004	***Beni culturali - Malte storiche - Determinazione del contenuto di anidride carbonica***	*Errata Corrige 1 alla UNI 11140:2004 del 27-05-2009*
UNI 11141:2004	***Beni culturali - Manufatti lignei - Linee guida per la datazione dendrocronologica del legno***	*La norma definisce la metodologia di datazione dei manufatti lignei mediante le tecniche della dendrocronologia.*
UNI 11150-2:2005	***Edilizia - Qualificazione e controllo del progetto edilizio per gli interventi sul costruito - Parte 2: Pianificazione della progettazione***	*La norma indica gli elementi di supporto per la definizione del progetto preliminare di un intervento edilizio sul costruito. Essa è utilizzabile quando il committente intenda documentare le finalità, i vincoli ed i requisiti assunti come base per l'indirizzo della progettazione e consentire la qualificazione del progetto attraverso l'effettuazione dei controlli di conformità al progetto preliminare di ogni singolo intervento. La norma si applica a progetti di interventi su beni edilizi puntuali, indipendentemente da:- natura del committente (pubblico, privato);- tipo dell'intervento previsto (manutenzione, riqualificazione, recupero, restauro, riuso, demolizione;- dimensione;- destinazione funzionale dell'opera;- tipi di vincolo (ambientali, urbanistici, di proprietà, beni culturali e paesistici, ecc.);- natura del finanziamento dell'opera (pubblico, privato, misto).In particolare, essa trova applicazione specifica ogni qualvolta la conformità del progetto dell'opera alle esigenze del committente debba essere formalmente documentata, attraverso la redazione del progetto preliminare del singolo intervento.*
UNI 11161:2005	***Beni culturali - Manufatti lignei - Linee guida per la conservazione, il restauro e la manutenzione***	*La norma stabilisce i requisiti da considerare per ogni attività di conservazione, restauro, manutenzione su manufatti lignei appartenenti al patrimonio dei beni culturali.*
UNI 11162:2005	***Beni culturali - Manufatti lignei - Supporti dei dipinti su tavola - Terminologia delle parti componenti***	*La norma stabilisce una terminologia unificata delle parti costituenti i supporti lignei dei dipinti su tavola, comprese quelle eventualmente realizzate con materiali diversi dal legno.*
UNI 11182:2006	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni***	*La norma indica la scelta e la definizione dei termini utili per indicare le differenti forme di alterazione e degradazione visibili ad occhio nudo.*
UNI 11176:2006	***Beni culturali - Descrizione petrografica di una malta***	*La norma riporta uno schema descrittivo utile per la caratterizzazione petrografica di una malta. Esso si applica a malte di allettamento, intonaci, stucchi utilizzati con funzione strutturale, di rivestimento, ornamentale, decorativa, ecc. in edifici di interesse storico- artistico.*

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
UNI 11177:2006	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN ISO 12571 - Prestazione igrotermica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione delle proprietà di assorbimento igroscopico***	*La norma contiene le istruzioni necessarie per l'applicazione della UNI EN ISO 12571 ai beni culturali.*
UNI 11189:2006	***Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Metodi di prova per la caratterizzazione chimica di una malta - Analisi chimica***	*La norma stabilisce una serie di metodi per determinare la composizione chimica elementale di una malta.*
EC 1-2011 UNI 11189:2006	***Beni culturali - Malte storiche e da restauro - Metodi di prova per la caratterizzazione chimica di una malta - Analisi chimica***	*Errata corrige 1 del 17-02-2011 alla UNI 11189:2006*
UNI 10705:2007	***Beni culturali - Analisi per fluorescenza a raggi X con strumentazione portatile***	*La norma fornisce alcuni criteri generali per lo studio dei materiali e per l'esecuzione di accertamenti non distruttivi mediante analisi per fluorescenza a raggi X con strumentazione portatile.*
UNI 11202:2007	***Beni culturali - Manufatti lignei - Determinazione e classificazione delle condizioni dell'ambiente***	*La norma specifica dei criteri per valutare se le condizioni climatiche di un dato ambiente sono idonee ai fini della conservazione di determinati manufatti lignei, e fornisce una procedura per l'applicazione di tali criteri.*
UNI 11203:2007	***Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Terminologia delle configurazioni strutturali e delle parti costituenti***	*La norma stabilisce una terminologia unificata delle configurazioni e delle parti costituenti le strutture portanti.*
UNI 11204:2007	***Beni culturali - Manufatti lignei - Determinazione dell'umidità***	*La norma descrive i criteri e i limiti per la determinazione o per la stima dell'umidità del legno su beni culturali in cui questo materiale sia a qualsiasi titolo presente.*
UNI 11205:2007	***Beni culturali - Legno di interesse archeologico ed archeobotanico - Linee guida per la caratterizzazione***	*La norma fornisce le linee guida per la caratterizzazione del legno: definisce i parametri chimici, fisici, biologici atti a valutare il suo stato di conservazione.*
UNI 11206:2007	***Beni culturali - Legno di interesse archeologico ed archeobotanico - Linee guida per il recupero e prima conservazione***	*La norma indica i criteri da adottare durante le operazioni di recupero di legno di interesse archeologico e archeobotanico e i parametri da conoscere allo scopo di assicurarne la corretta conservazione a breve termine.*
UNI 11186:2008	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Metodologia per l'esposizione a cicli di gelo e disgelo***	*La norma stabilisce una metodologia da utilizzare per l'esposizione a cicli di gelo e disgelo dei materiali lapidei naturali ed artificiali, trattati e non trattati.*
UNI 11305:2009	***Beni culturali - Malte storiche - Linee guida per la caratterizzazione mineralogico-petrografica, fisica e chimica delle malte***	*La norma si applica alle malte utilizzate in costruzioni e in edifici di interesse culturale e ambientale. La norma è applicabile anche al campo più esteso degli edifici e delle costruzioni antiche non vincolate. La norma stabilisce i criteri generali per le osservazioni macroscopiche preliminari al campionamento, e per la scelta delle metodologie analitiche per lo studio mineralogico-petrografico, fisico e chimico di una malta, finalizzato alla caratterizzazione dell'impasto e alla valutazione del suo stato di conservazione.*

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
ISO 4866:2010	*Vibrazioni meccaniche e urti - Vibrazioni delle strutture fisse - Linee guida per la misura delle vibrazioni e la valutazione dei loro effetti sulle strutture*	*La norma ISO 4866:2010 stabilisce i principi per l'esecuzione della misurazione delle vibrazioni e l'elaborazione dei dati per quanto riguarda la valutazione degli effetti delle vibrazioni sulle strutture. Non copre la fonte di eccitazione, tranne quando la sorgente determina la gamma dinamica, la frequenza o altri parametri rilevanti. La valutazione degli effetti delle vibrazioni strutturali si ottiene principalmente dalla risposta della struttura, utilizzando opportuni metodi analitici con i quali è possibile definirne la frequenza, la durata e l'ampiezza. La norma ISO 4866:2010 si occupa solo della misurazione delle vibrazioni strutturali ed esclude la misurazione della pressione sonora aerea e di altre fluttuazioni di pressione, sebbene venga presa in considerazione la risposta a tali eccitazioni. La norma ISO 4866:2010 si applica a tutte le strutture costruite sopra o sottoterra. Tali strutture sono utilizzate o mantenute e comprendono edifici, strutture di valore archeologico e storico (beni culturali), ponti e gallerie, impianti di gas e liquidi, comprese le condotte, strutture in terra (ad esempio dighe e argini) e impianti marini fissi (ad esempio banchine e moli). La norma ISO 4866:2010 non si applica ad alcune strutture speciali, tra cui le centrali nucleari e le dighe. La risposta delle strutture dipende dall'eccitazione. La ISO 4866:2010 esamina i metodi di misurazione influenzati dalla fonte di eccitazione, ovvero la frequenza, la durata e l'ampiezza indotte da qualsiasi fonte (ad esempio terremoto, uragano, esplosione, carico del vento, rumore aereo, boom sonico, macchinari interni, traffico e attività di costruzione).*
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***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15757 (edizione settembre 2010) e tiene conto delle correzioni introdotte l'8 settembre 2010. La norma costituisce una guida che specifica i livelli di temperatura e umidità relativa per limitare i danni fisici che il clima causa ai materiali organici igroscopici che sono stati tenuti immagazzinati per lungo tempo (oltre un anno) o in mostre in ambienti interni come musei, gallerie, depositi, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici antichi o moderni.*
UNI EN 15758:2010	***Conservazione dei Beni Culturali - Procedure e strumenti per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie degli oggetti***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15758 (edizione settembre 2010). La norma raccomanda le procedure per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie dei beni culturali in ambienti interni che all'aperto; riporta inoltre le caratteristiche minime per la strumentazione necessaria a tali misurazioni.*
UNI EN 15801:2010	***Conservazione dei beni culturali - Metodi di prova - Determinazione dell'assorbimento dell'acqua per capillarità***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15801 (edizione dicembre 2009). La norma specifica un metodo per determinare l'assorbimento dell'acqua per capillarità di materiali inorganici porosi utilizzati per, e che costituiscono, i beni culturali. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi sia non trattati che sottoposti a qualsiasi trattamento o invecchiamento.*

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
UNI EN 15802:2010	***Conservazione dei beni culturali - Metodi di prova - Determinazione dell'angolo di contatto statico***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15802 (edizione dicembre 2009). La norma specifica un metodo per la misurazione dell'angolo di contatto statico di una goccia d'acqua su materiali inorganici porosi utilizzati per, e che costituiscono, i beni culturali. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi sia non trattati che sottoposti a qualsiasi trattamento o invecchiamento.*
UNI EN 15803:2010	***Conservazione dei beni culturali - Metodi di prova - Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15803 (edizione dicembre 2009). La norma specifica un metodo per determinare la permeabilità al vapore d'acqua (WVP) di materiali inorganici porosi utilizzati per, e che costituiscono, i beni culturali. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi sia non trattati che sottoposti a qualsiasi trattamento o invecchiamento.*
UNI EN 15886:2010	***Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura del colore delle superfici***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15886 (edizione settembre 2010). La norma descrive un metodo di prova per la misura del colore delle superfici di materiali inorganici porosi e le loro possibili variazioni cromatiche. Non è considerato l'aspetto delle superfici lucide. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi non trattati, o sottoposti a trattamenti o invecchiati.*
UNI 11432:2011	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Misura della capacità di assorbimento di acqua mediante spugna di contatto***	*La norma definisce un metodo per la determinazione della capacità di assorbimento di acqua di un materiale lapideo per unità di superficie in funzione del tempo. La prova avviene mediante contatto, a pressione costante, di una spugna bagnata con acqua (spugna di contatto) e la superficie del materiale.*
UNI EN 15946:2011	***Conservazione dei Beni culturali - Principi di imballaggio per il trasporto***	*La norma definisce il processo di imballaggio di oggetti i cui proprietari o i soggetti preposti alla custodia hanno concesso l'autorizzazione al trasporto.*
EN 15759-1:2011	***Conservazione dei beni culturali - Clima interno - Parte 1: Linee guida per il riscaldamento di chiese, cappelle e altri luoghi di culto***	*La presente norma europea fornisce le linee guida per la selezione delle strategie di riscaldamento e dei sistemi di riscaldamento in chiese, cappelle e altri luoghi di culto come moschee e sinagoghe, al fine di prevenire danni ai beni culturali e allo stesso tempo creare un clima interno che consenta un uso sostenibile di questi edifici. Si applica alla maggior parte dei tipi di luoghi di culto, indipendentemente dalle dimensioni e dalla costruzione. La presente norma europea si applica non solo all'introduzione di nuovi sistemi di riscaldamento, ma anche alla sostituzione di quelli vecchi. La presente norma europea si applica agli edifici che fanno parte del patrimonio culturale o che ospitano oggetti del patrimonio culturale. La presente norma europea si occupa delle condizioni climatiche interne, delle strategie di riscaldamento e delle soluzioni tecniche per la loro attuazione, ma non delle apparecchiature tecniche stesse.*

Norma	*Ambito*	*Descrizione*
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***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15759-1 (edizione novembre 2011). La norma fornisce le linee guida per la scelta delle strategie di riscaldamento e impianti di riscaldamento nelle chiese, cappelle e altri luoghi di culto come le moschee e sinagoghe, al fine di evitare danni ai beni culturali e al tempo stesso creare un clima interno che permette un uso sostenibile di tali edifici. La norma si applica alla maggior parte dei luoghi di culto, indipendentemente dalla loro dimensione e struttura. La norma si applica inoltre non solo per l'introduzione di nuovi sistemi di riscaldamento, ma anche per la sostituzione di quelli vecchi.*
UNI EN 16085:2012	***Conservazione dei beni culturali - Metodologia per il campionamento dei materiali costituenti i beni culturali - Regole generali***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16085 (edizione agosto 2012). La norma fornisce una metodologia e indica i criteri per il campionamento dei materiali costituenti i beni culturali con la finalità di effettuare indagini scientifiche, per esempio per caratterizzare i materiali e il loro stato di conservazione, determinare le cause e/o i meccanismi di deterioramento, selezionare e/o valutare gli interventi conservativi. Inoltre, la presente norma provvede anche a fornire indicazioni su come documentare il campionamento e come manipolare i campioni prelevati. La presente norma non riporta alcuna indicazione circa il piano di campionamento e neppure indica l'uso che se ne deve fare del campione.*
EN 16095:2012	***Conservazione dei beni culturali - Registrazione delle condizioni dei beni culturali mobili***	*La presente norma europea stabilisce lo scopo e il contesto della registrazione delle condizioni dei beni culturali mobili e fornisce un quadro di riferimento per una relazione sulle condizioni. Specifica lo stato di un "condition report" e il suo contenuto essenziale. La presente norma europea si applica a tutti i tipi di beni culturali mobili, siano essi singoli oggetti o intere collezioni. Può essere utilizzato anche per elementi immobili in edifici o monumenti.*
UNI EN 16095:2012	***Conservazione dei beni culturali - Descrizione dello stato di conservazione per i beni culturali mobili***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16095 (edizione agosto 2012). La norma stabilisce le finalità e il contesto relativi alla descrizione dello stato di conservazione per i beni culturali mobili, inoltre definisce anche la struttura per un rapporto dello stato di conservazione. Esso specifica lo status e i contesti essenziali di un rapporto dello stato di conservazione. La presente norma si applica a tutte le classi di beni culturali mobili, sia come oggetti individuali sia come collezioni. Esso può pure essere usato per beni immobili pertinenti a edifici o monumenti.*
EN 16096:2012	***Conservazione dei beni culturali - Rilievo delle condizioni e relazione dei beni culturali costruiti***	*La presente norma europea fornisce le linee guida per un'indagine sullo stato del patrimonio culturale costruito. Stabilisce come le condizioni del patrimonio culturale costruito dovrebbero essere valutate, documentate, registrate e rendicontate. Comprende la valutazione delle condizioni di un edificio o di un'altra struttura*

		principalmente attraverso l'osservazione visiva, insieme - quando necessario - a semplici misurazioni. I dati e la documentazione pertinenti sul patrimonio culturale costruito dovrebbero essere raccolti e inclusi nella relazione. La presente norma europea può essere applicata a tutto il patrimonio culturale costruito come edifici, rovine, ponti e altre strutture in piedi. Il patrimonio culturale costruito comprende edifici e strutture significative sia protetti che non protetti. I siti archeologici e i paesaggi culturali non sono trattati in questo standard. La presente Norma Europea non specifica come effettuare una diagnosi (3.7) del patrimonio culturale costruito. Per i beni immobili elencati/protetti possono applicarsi norme nazionali specifiche per la documentazione e le opere di esperti. La presente norma europea può essere applicata al fine di: a) identificare le misure di manutenzione e la necessità di ulteriori indagini e diagnosi dei danni; b) definire le esigenze di approvvigionamento e la necessità di una specificazione dettagliata; c) fornire un metodo unificato per ottenere dati comparativi, quando si effettua un'indagine sulle condizioni di un gruppo di edifici o di una regione.
UNI EN 16096:2012	***Conservazione dei beni culturali - Indagine e rapporto dello stato di conservazione del patrimonio culturale immobile***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16096 (edizione agosto 2012). La norma fornisce delle linee guida per la descrizione dello stato di conservazione del patrimonio culturale immobile. La norma stabilisce come deve essere esaminato, documentato e registrato lo stato di conservazione del patrimonio culturale immobile. La norma comprende la valutazione dello stato di conservazione di un edificio o altra struttura principalmente in base all'osservazione visuale, accompagnata, quando necessario, da semplici misure. I dati rilevanti e la documentazione sul patrimonio culturale immobile dovrebbero essere raccolti e inclusi in un rapporto. La norma può essere applicata al patrimonio culturale immobile come gli edifici, rovine, ponti e altre strutture in elevazione. La norma comprende sia edifici storici protetti e no. I siti archeologici e il paesaggio di interesse culturale non sono inclusi in questo standard. La norma non specifica come condurre la fase diagnostica (3.7) del patrimonio culturale immobile. Per il patrimonio culturale immobile protetto si possono applicare norme nazionali per la documentazione e i lavori specifici. La presente norma può essere applicata a: a) identificare misure di manutenzione e alla necessità di ulteriori indagini e fasi diagnostiche del degrado; b) definire le necessità e i requisiti per capitolati più dettagliati; c) provvedere a usare metodi unificati quando si effettuano indagini sullo stato di conservazione per un gruppo di edifici o una regione per ottenere dati comparabili.*
ISO 27730:2012	***Informazioni e documentazione - Identificatore internazionale standard di collezione (ISCI)***	*La presente norma internazionale stabilisce le specifiche per l'International Standard Collection Identifier (ISCI) come sistema di identificazione internazionale unico per ogni collezione, fondo e serie (archivistica) e parte di collezioni,*

		fondi e serie. La presente norma internazionale stabilisce le specifiche per la struttura di un identificatore e promuove l'uso dell'identificatore per quanto riguarda l'identificazione di sistemi già esistenti. Fornisce inoltre un elenco di elementi di metadati consigliati che descrivono una raccolta. La presente norma internazionale non specifica la descrizione delle collezioni, dei fondi e delle serie, né le relazioni tra collezioni e sotto collezioni. L'ISCI è destinato alle organizzazioni che gestiscono collezioni di materiali culturali. Si tratta di istituzioni per il patrimonio culturale come biblioteche, musei e archivi, nonché di altri tipi di organizzazioni come gli editori che operano nella catena di fornitura di materiali culturali.
EN 16141:2012	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per la gestione delle condizioni ambientali - Depositi aperti: definizioni e caratteristiche dei centri di raccolta dedicati alla conservazione e alla gestione dei beni culturali***	*La presente norma europea definisce le caratteristiche di specifiche aree dedicate alla conservazione, all'archiviazione, alla gestione e all'accesso alle collezioni. Elenca le considerazioni che devono essere prese in considerazione per ottenere un'archiviazione e un'accessibilità ottimali.*
EN 16242:2012	***Conservazione dei beni culturali - Procedure e strumenti per la misurazione dell'umidità nell'aria e degli scambi di umidità tra aria e beni culturali***	*La presente norma europea fornisce indicazioni e specifica procedure e strumenti per la misurazione dell'umidità relativa (RH) nell'aria, in ambienti esterni o interni. Indica come l'UR può essere misurata direttamente o come può essere calcolata dalla temperatura dell'aria, dalla temperatura del bulbo umido e dalla temperatura del punto di rugiada. Questo standard contiene raccomandazioni per misurazioni accurate delle condizioni ambientali e degli scambi di umidità tra l'aria e gli oggetti del patrimonio culturale. Si rivolge a tutti coloro che si occupano di diagnosi ambientale, conservazione o manutenzione di edifici, collezioni o singoli oggetti.*
UNI 11471:2013	***Beni culturali - Valutazione della pozzolanicità di un materiale - Metodo chimico (saggio di pozzolanicità)***	*La norma definisce un metodo chimico per la valutazione della pozzolanicità di un materiale. Il metodo chimico si basa sull'evidenziazione dell'avvenuta "fissazione" della calce da parte del materiale in esame (saggio di pozzolanicità) ed eventualmente sulla determinazione della quantità di calce fissata.*
UNI EN 16141:2013	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per la gestione delle condizioni ambientali delle aree di deposito delle collezioni museali e dell'impiantistica: definizione e caratteristiche dei centri di raccolta finalizzati alla preservazione e gestione del patrimonio culturale***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16141 (edizione novembre 2012). La norma definisce le caratteristiche (tecniche) delle aree destinate alla raccolta e alla gestione delle collezioni museali. La norma inoltre elenca i fattori da prendere in considerazione per raggiungere le migliori condizioni di stoccaggio e accessibilità.*
UNI EN 16242:2013	***Conservazione dei beni culturali - Procedure e strumenti per misurare l'umidità dell'aria e gli***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16242 (edizione novembre 2012) e tiene conto delle correzioni introdotte il 19 dicembre 2012. La norma costituisce una guida e specifica le procedure e la*

	scambi di vapore tra l'aria e i beni culturali	*strumentazione per misurare l'umidità relativa (UR) in aria, sia in ambienti confinati che all'esterno. Indica come l'UR possa essere misurata direttamente o come può essere calcolata dalla temperatura dell'aria, dalla temperatura di bulbo bagnato, e dalla temperatura di rugiada. La norma contiene raccomandazioni per ottenere misure accurate delle condizioni ambientali e degli scambi di vapore tra l'aria e gli oggetti del patrimonio culturale. È rivolta a chiunque abbia responsabilità nel campo della diagnostica ambientale, della conservazione o manutenzione di edifici, collezioni o singoli oggetti.*
EN 16302:2013	***Conservazione dei beni culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento d'acqua mediante il metodo delle pipe***	*La presente norma europea specifica un metodo per misurare l'assorbimento d'acqua dei materiali inorganici porosi utilizzati e costituenti beni culturali mediante il metodo delle tubazioni. Il metodo può essere utilizzato su materiali inorganici porosi non trattati o sottoposti a qualsiasi trattamento o invecchiamento. Il metodo può essere utilizzato sia in laboratorio che in situ per la sua natura non distruttiva.*
UNI EN 16302:2013	***Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16302 (edizione febbraio 2013). La norma specifica un metodo per misurare l'assorbimento d'acqua di materiali inorganici porosi utilizzati e/o costitutivi i Beni Culturali mediante la tecnica della pipetta. La metodica può essere utilizzata su materiali inorganici porosi non trattati o sottoposti a trattamenti di consolidamento, di protezione o di invecchiamento. Il metodo può essere applicato sia in laboratorio sia in situ per la sua natura non distruttiva.*
EN 16322:2013	***Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Determinazione delle proprietà essiccanti***	*La presente norma europea specifica un metodo per la determinazione del comportamento di essiccazione dei materiali inorganici porosi utilizzati e costituenti beni culturali. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi, non trattati o sottoposti a qualsiasi trattamento o invecchiamento.*
UNI EN 16322:2013	***Conservazione dei beni culturali - Metodi delle prove - Determinazione delle proprietà di asciugamento***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16322 (edizione ottobre 2013). La norma definisce il metodo per la determinazione del comportamento all'asciugamento di un materiale poroso inorganico sia costituente i Beni Culturali che usato nel settore dei Beni Culturali. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi non trattati, trattati con qualsiasi tipo di trattamento o invecchiati.*
UNI 11526:2014	***Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Cianobatteri ed alghe verdi: tecniche colturali***	*La norma presenta le tecniche di analisi colturale più utilizzate per consentire la crescita di Cyanobacteria e Chlorophyceae, colonizzanti i materiali lapidei. Per ogni gruppo microbico vengono riportate la composizione dei terreni colturali consigliati, le tecniche di preparazione, le condizioni di incubazione, i tempi e le modalità di lettura dei risultati.*
UNI 11527:2014	***Beni culturali - Rilevamento della carica microbica dell'aria in ambienti interni - Metodo di***	*La norma riguarda la metodologia per il rilevamento quali-quantitativo della microflora vitale coltivabile diffusa nell'aria di ambienti interni mediante campionamento*

	campionamento passivo mediante piastre di sedimentazione	*passivo. Il metodo consiste nell'esposizione all'aria di capsule di Petri contenenti terreno colturale solido; ciò permette di determinare i microrganismi vitali aero diffusi che possono depositarsi su di una superficie per gravità o movimenti aerodinamici. Il metodo risulta più adatto al rilevamento di batteri eterotrofi coltivabili e microfunghi. Per l'elaborazione del resoconto di prova, la norma include un modello di scheda per il rilevamento dei dati dell'ambiente esaminato e una scheda per l'espressione dei risultati del monitoraggio.*
UNI 11551-1:2014	***Beni culturali - Materiali lapidei - Metodologia per la valutazione di un metodo di pulitura - Parte 1: Protocollo analitico finalizzato all'esame della potenziale dannosità***	*La norma descrive una metodologia per testare in laboratorio la eventuale potenziale dannosità di un metodo di pulitura rispetto ad un tipo di pietra utilizzando campioni di cava in vista di un utilizzo sui materiali lapidei costituenti i Beni Culturali.*
EN 15999-1:2014	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per la progettazione di vetrine per l'esposizione e la conservazione degli oggetti - Parte 1: Requisiti generali***	*La presente norma europea specifica le caratteristiche e le condizioni per l'uso delle vetrine per l'esposizione sicura e protetta degli oggetti del patrimonio culturale, riducendo l'interazione ambientale e rispettando i requisiti per una migliore conservazione.*
UNI EN 15999-1:2014	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per la progettazione di vetrine per l'esposizione e la conservazione di oggetti - Parte 1: Aspetti generali***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 15999-1(edizione marzo 2014). La norma specifica le caratteristiche e le condizioni d'utilizzo di vetrine per esporre oggetti del patrimonio culturale in condizioni di sicurezza per le persone e per gli oggetti stessi, riducendo le interazioni con l'ambiente e al fine di ottenere una migliore condizione conservativa.*
CEN/TS 16163:2014	***Conservazione dei Beni Culturali - Linee guida e procedure per la scelta di un'illuminazione adeguata alle mostre in interni***	*La presente Specifica Tecnica definisce le procedure e i mezzi per attuare un'illuminazione adeguata, per quanto riguarda la politica di conservazione. Prende in considerazione gli aspetti visivi, espositivi e di conservazione e discute anche le implicazioni del progetto illuminotecnico sulla salvaguardia dei beni culturali. La presente Specifica Tecnica fornisce raccomandazioni sui valori dei livelli di illuminazione minimo e massimo. Ha lo scopo di fornire uno strumento per l'elaborazione di una politica europea comune e una guida per aiutare curatori, conservatori e responsabili di progetto a valutare la corretta illuminazione che possa garantire la salvaguardia delle opere esposte. La presente Specifica Tecnica riguarda l'illuminazione degli oggetti del patrimonio esposti in siti pubblici e privati e non considera l'illuminazione in altri contesti del patrimonio culturale, come collezioni all'aperto, ecc.*
UNI CEN/TS 16163:2014	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida e procedure per scegliere l'illuminazione adatta a esposizioni in ambienti interni***	*La presente specifica tecnica è la versione ufficiale della specifica tecnica europea CEN/TS 16163 (edizione aprile 2014). La presente specifica tecnica definisce le procedure e i mezzi per produrre un'illuminazione adatta ai fini conservativi. Tiene conto degli aspetti estetici, espositivi e conservativi e discute le implicazioni della progettazione dell'illuminazione ai fini di salvaguardare i beni culturali. Questa specifica tecnica dà raccomandazioni sui livelli di*

		illuminamento minimo e massimo accettabile. La finalità è di fornire gli elementi necessari per costruire una politica europea comune e una guida per assistere i curatori, i conservatori e i responsabili di progetto nel realizzare illuminazioni compatibili con la conservazione degli oggetti esposti. Tale specifica tecnica concerne l'illuminazione di oggetti in esposizioni pubbliche o private in ambienti interni, ma non prende in considerazione l'illuminazione in altri contesti culturali come, ad esempio, collezioni all'aperto o altro.
EN 16455:2014	***Conservazione dei beni culturali - Estrazione e determinazione dei sali solubili nelle pietre naturali e nei materiali correlati utilizzati nei e dai beni culturali***	*La presente norma europea fornisce una metodologia per l'analisi qualitativa e quantitativa di anioni e cationi ottenuti dalla dissoluzione di sali solubili presenti nella pietra naturale o in altri materiali inorganici porosi costituenti il patrimonio culturale e nei materiali e prodotti utilizzati per il loro restauro. La metodologia richiede che siano stati prelevati campioni dal bene culturale. I principali ioni considerati in questo standard sono: Cl-, NO2-, NO3-, SO42 -, Na+, K+, NH4+, Ca2+, Mg2+*
UNI EN 16455:2014	***Conservazione dei beni culturali - Dissoluzione e determinazione di sali solubili nelle pietre naturali e relativi materiali in uso e provenienti dal patrimonio culturale***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16455 (edizione settembre 2014). La presente norma europea fornisce una metodologia per effettuare analisi qualitative e quantitative di anioni e cationi ottenuti per dissoluzione di sali solubili presenti sia nelle pietre naturali sia in altri materiali inorganici porosi costituenti il patrimonio culturali, inclusi i materiali e prodotti usati per il restauro dello stesso. Questa metodologia si riferisce a campioni prelevati su beni culturali. I principali ioni considerati in questo standard sono: Cl-, NO2-, NO3-, SO42 -, Na+, K+, NH4+, Ca2+, Mg2+.*
EN 16515:2015	***Conservazione dei Beni Culturali - Linee guida per caratterizzare la pietra naturale utilizzata nei beni culturali***	*La presente norma europea specifica una metodologia per la caratterizzazione di pietre sane o deteriorate utilizzando le tecniche analitiche più appropriate su campioni prelevati dall'oggetto. La presente norma europea contiene linee guida per la selezione di metodi per determinare le proprietà mineralogiche, strutturali, fisiche, chimiche e meccaniche della pietra naturale utilizzata nei monumenti e negli oggetti dei beni culturali. Queste informazioni vengono utilizzate per definire la tipologia di roccia e per valutare le condizioni della pietra rispetto alla sua conservazione, nonché per comprendere i processi di deterioramento della pietra naturale. Ove possibile, si fa riferimento agli standard esistenti e si forniscono orientamenti laddove siano necessari campioni diversi e vengano utilizzati metodi aggiuntivi. I metodi descritti sono generalmente distruttivi, tuttavia, i metodi non distruttivi (NDT) sono sempre preferibili ai metodi con un minimo di distruzione e questi sono sempre preferibili ai metodi distruttivi. I metodi utilizzati per l'analisi dei calcoli possono variare a seconda degli obiettivi del lavoro. Tutte le indagini e le analisi devono essere proporzionali al significato dell'edificio o del manufatto oggetto di indagine, alle sue condizioni e al probabile livello di intervento. La presente norma europea sarà utilizzata per determinare il tipo, la portata e gli obiettivi dell'esame da effettuare.*

UNI EN 16515:2015	***Conservazione del patrimonio culturale - Linee guida per la caratterizzazione dei materiali lapidei naturali per la realizzazione di opere costituenti il patrimonio culturale***	*La norma riporta una metodologia per la caratterizzazione di materiale lapideo deteriorato o in buone condizioni conservative ricorrendo alle tecniche analitiche più appropriate su campioni provenienti direttamente dall'oggetto di studio. Questo Standard riporta le linee guida per l'identificazione dei metodi di indagine atti determinare le caratteristiche mineralogiche, tessiturali, fisiche, chimiche e meccaniche delle pietre naturali utilizzate in edifici e monumenti di interesse culturale. Le informazioni raccolte attraverso l'uso delle suddette metodologie sono finalizzate a definire la tipologia lapidea e valutarne le sue condizioni conservative, così come sono finalizzate alla comprensione ed interpretazione dei processi di deterioramento delle pietre naturali. Ove già esistenti, si fa riferimento a precedenti standard e comunque ove necessario si suggeriscono sia diverse tipologie di campioni da utilizzare, sia la necessità di applicare metodi di indagine aggiuntivi. La generalità dei metodi indicati sono del tipo distruttivo sebbene valga sempre la regola che i metodi non distruttivi, ove applicabili, sono sempre da preferire ai primi. I metodi applicabili per le analisi dei materiali lapidei possono variare in funzione degli obiettivi del lavoro che ci si prefigge infatti questi devono essere proporzionati all'importanza dell'edificio (o dell'oggetto di studio), le sue condizioni conservative ed il suo livello di rimaneggiamento rispetto all'originale. Questo standard infine viene usato per definire il tipo, l'estensione e gli obiettivi degli esami da effettuare.*
UNI EN 16572:2015	***Conservazione dei beni culturali - Glossario dei termini tecnici relativi alle malte di allettamento e gli intonaci utilizzati nel patrimonio culturale***	*La norma descrive la terminologia relative alle malte utilizzate nel settore dei Beni Culturali.*
EN 16581:2014	***Conservazione dei Beni Culturali - Protezione delle superfici dei materiali inorganici porosi - Metodi di prova di laboratorio per la valutazione delle prestazioni dei prodotti idrorepellenti***	*La presente norma europea specifica la metodologia per la valutazione di laboratorio delle prestazioni dei prodotti idrorepellenti su materiali inorganici porosi. Si basa sulla misurazione di diversi parametri che valutano le prestazioni del prodotto utilizzando metodi di prova standard prima e dopo l'invecchiamento. Le prestazioni accettabili all'interno del laboratorio non costituiscono un'approvazione generale dell'applicazione in ogni situazione. Il particolare contesto dell'oggetto del patrimonio, compresi fattori come la designazione del materiale, le condizioni, l'esposizione, il contenuto di sale e i problemi legati all'ingresso di acqua, richiede ulteriori indagini.*
EN 16572:2015	***Conservazione dei beni culturali - Glossario dei termini tecnici relativi alle malte per muratura, intonaci e intonaci utilizzati nei beni culturali***	*La presente norma europea descrive la terminologia per le malte utilizzate nel campo dei beni culturali. Nota: Oltre ai termini utilizzati nelle tre lingue ufficiali del CEN (inglese, francese e tedesco), la presente norma europea fornisce i termini equivalenti in olandese, italiano, greco, svedese e spagnolo; questi sono pubblicati sotto la responsabilità dell'organo membro/Comitato nazionale per NEN, UNI, ELOT, SIS e AENOR e sono forniti solo a titolo informativo. Solo i termini e le definizioni forniti nelle lingue ufficiali possono essere considerati termini e definizioni del CEN.*

UNI EN 16581:2015	***Conservazione dei beni culturali - Protezione superficiale per materiali inorganici porosi - Metodi di prova di laboratorio per la valutazione delle prestazioni dei prodotti idrorepellenti***	*La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 16581 (edizione dicembre 2014). La norma specifica la metodologia per la valutazione in laboratorio delle prestazioni dei prodotti idrorepellenti applicati a materiali inorganici porosi. Essa si basa sulla misura di alcuni parametri che valutano le prestazioni del prodotto prima e dopo invecchiamento utilizzando prove standardizzate. Prestazioni soddisfacenti ottenute in laboratorio non costituiscono una garanzia assoluta di buona riuscita di un trattamento in ogni situazione di conservazione. Si raccomanda pertanto di studiare ulteriormente il particolare contesto in cui si trova il Bene, compresi fattori quali la caratterizzazione del materiale, il suo stato di conservazione, l'esposizione, il contenuto di sali e i problemi legati alla penetrazione dell'acqua.*
EN 16648:2015	***Conservazione dei beni culturali - Metodi di trasporto***	*La presente norma europea definisce i principi da considerare nel trasporto di beni culturali mobili in conformità alla norma EN 15946.*
UNI EN 16648:2015	***Conservazione dei beni culturali - Metodi di trasporto***	*La norma definisce i principi generali da tenere in considerazione per il trasporto di beni culturali movibili in accordo con la norma EN 15946.*
UNI ISO 21127:2015	***Documentazione e informazione - Ontologia di riferimento per l'interscambio di informazioni sui beni culturali***	*La presente norma è l'adozione nazionale in lingua inglese della norma internazionale ISO 21127 (edizione ottobre 2014). La norma ISO 21127:2014 stabilisce le linee guida per lo scambio d'informazioni tra istituzioni che gestiscono beni culturali, quali musei, biblioteche e archivi. Lo scopo della presente norma è lo scambio e l'integrazione di documentazione scientifica eterogenea relativa alle collezioni di tali istituzioni.*
EN 16782:2016	***Conservazione dei beni culturali - Pulitura di materiali inorganici porosi - Tecniche di pulitura laser per i beni culturali***	*La presente norma europea si applica ai materiali inorganici porosi che costituiscono il patrimonio culturale. Fornisce i requisiti fondamentali dei parametri laser e le linee guida per la scelta dei parametri operativi del laser, al fine di ottimizzare la procedura di pulizia.*
UNI EN 16782:2016	***Conservazione dei beni culturali - Pulitura di materiali inorganici porosi - Tecniche di pulitura laser per i beni culturali***	*La presente norma si applica ai materiali inorganici porosi costituenti i beni culturali. Essa fornisce i requisiti fondamentali dei parametri laser e linee guida per la scelta dei parametri operativi del laser, al fine di ottimizzare la procedura di pulitura.*
EN 16790:2016	***Conservazione dei beni culturali - Lotta integrata (IPM) per la tutela dei beni culturali***	*La presente norma europea definisce la gestione integrata dei parassiti (IPM) e descrive una metodologia completa per la gestione dei problemi legati ai parassiti per la protezione del patrimonio culturale. La presente norma europea si applica agli oggetti e agli edifici, che ospitano collezioni, come musei, archivi, biblioteche, dimore e edifici storici, luoghi di culto, mercanti d'arte e sale d'asta, società di trasporto e stoccaggio di opere d'arte. La presente norma europea non si applica a grotte, giardini e parchi.*
UNI EN 16790:2016	***Conservazione dei beni culturali - Gestione integrate delle specie nocive per la protezione dei beni culturali***	*La presente norma europea definisce la gestione integrata delle specie nocive (IMP) e descrive una metodologia completa per la gestione dei problemi legati agli organismi nocivi finalizzata alla protezione dei beni culturali. La*

		presente norma europea si applica agli oggetti e agli edifici, alle collezioni in ambienti confinati, come musei, archivi, biblioteche, case e palazzi storici, luoghi di culto, negozi di antiquariato, case d'asta, alle imprese di trasporto e di deposito delle opere d'arte. La presente norma europea non si applica a grotte, giardini e parchi.
EN 16853:2017	***Conservazione dei beni culturali - Processo di conservazione - Processo decisionale, pianificazione e attuazione***	*La presente norma europea specifica il processo decisionale, di pianificazione e di attuazione della conservazione del patrimonio culturale materiale. Si applica alle espressioni materiali del patrimonio culturale tangibile, come i singoli oggetti, le collezioni, l'ambiente costruito, i siti storici, i siti archeologici e i paesaggi culturali. NOTA: La presente norma europea non copre le modalità di identificazione del patrimonio culturale, né chi o quali competenze sono necessarie per intraprendere decisioni o altre parti del processo.*
UNI EN 16853:2017	***Conservazione del patrimonio culturale - Processo di conservazione - Decisione, pianificazione e realizzazione***	*La presente norma europea riguarda il processo decisionale, la pianificazione e l'attuazione della conservazione del patrimonio culturale tangibile. Si applica alle espressioni materiali del patrimonio culturale tangibile come ad esempio gli oggetti individuali, le collezioni, l'ambiente costruito, i siti storici, i siti archeologici e i paesaggi culturali.*
EN 16873:2016	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per la gestione del legno impregnato d'acqua nei siti archeologici terrestri***	*Questa norma europea fornisce linee guida per la salvaguardia del legno impregnato d'acqua su siti terrestri di importanza archeologica o storica. Si occupa della tutela del legno impregnato d'acqua archeologico e storico, dal momento dell'esposizione durante e dopo lo scavo, fino al raggiungimento del laboratorio di conservazione. Lo standard non può essere applicato alla gestione della sepoltura controllata, della conservazione in situ, dello stoccaggio post-scavo a lungo termine o degli scavi sott'acqua. I manufatti compositi e altri materiali impregnati d'acqua sono specificamente esclusi da questo standard.*
UNI EN 16873:2016	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per la gestione di legni archeologici imbibiti provenienti da ambiti umidi terrestri***	*La presente norma fornisce delle linee guida per la gestione di legni archeologici imbibiti provenienti da siti collocati in ambienti umidi terrestri che abbiano interesse storico o archeologico. La norma fornisce indicazioni operative per la gestione di questi manufatti, a partire dal momento della loro esposizione nel corso dello scavo, o successivamente a questo, fino a quando i reperti raggiungono il laboratorio di restauro. La norma non può essere applicata nel caso in cui si voglia procedere alla conservazione mediante riseppellimento controllato, conservazione in situ, nel caso di deposito prolungato successivo allo scavo, o nel caso di scavo da condurre sott'acqua. La norma non può essere applicata per la conservazione di manufatti costituiti da più materiali, o per la conservazione di altri materiali imbibiti.*
EN 16682:2017	***Conservazione dei beni culturali - Metodi di misura del contenuto di umidità, o contenuto d'acqua, nei***	*La presente norma europea ha lo scopo di informare e assistere gli utenti nella scelta e nell'uso del metodo più appropriato per ottenere misure affidabili del contenuto di umidità, o contenuto d'acqua, nel legno e nella muratura*

	materiali costituenti beni culturali immobili	*(compresi mattoni, muratura, calcestruzzo, gesso, malte, ecc.) nel caso specifico del patrimonio culturale costruito. Fornisce un quadro di base per prendere e interpretare questo tipo di misurazioni sui materiali del patrimonio culturale di cui sopra che hanno subito agenti atmosferici, attacchi di parassiti, migrazione salina o altre trasformazioni nel tempo. Specifica quattro metodi assoluti (cioè, gravimetrico, titolazione Karl Fischer, distillazione azeotropica e carburo di calcio); ne spiega le caratteristiche, i pro e i contro, e fornisce le specifiche per la trasformazione delle letture nella stessa unità per rendere comparabili le misure effettuate con metodi diversi. Specifica i tre principali metodi relativi (cioè, resistenza elettrica, capacità e umidità relativa in equilibrio con il materiale), evidenziandone le caratteristiche e le incertezze quando vengono utilizzati nel campo dei beni culturali. Inoltre, fornisce una panoramica informativa di altri dieci metodi relativi, le loro caratteristiche, pro e contro. Fornisce le specifiche per la calibrazione dei vari metodi. Confrontano inoltre i metodi di cui sopra in relazione alla loro accuratezza, ai requisiti di campionamento, alle dimensioni del campione, all'uso in laboratorio o sul campo e ad altri problemi incontrati nel campo dei beni culturali per prevenire l'uso improprio degli strumenti, ridurre le incertezze ed evitare interpretazioni errate della lettura.*
UNI EN 16682:2017	***Conservazione del patrimonio culturale - Metodi per la misurazione del contenuto igrometrico, o dell'acqua contenuto nei materiali costituenti i beni immobili del patrimonio culturale***	*La presente norma europea è una guida che specifica le corrette metodologie che debbono essere usate ai fini conservativi per la misurazione del contenuto igrometrico nei materiali costituenti beni culturali mobili o immobili, in ambiente interno o esterno. È finalizzata ad assistere gli utilizzatori nella scelta del sistema più appropriato per ottenere una misurazione affidabile nel rispetto delle esigenze conservative. Esso indica come il contenuto igrometrico può essere misurato direttamente o indirettamente, facendo distinzione tra metodologie che implicano il contatto o meno, invasive e non invasive, distruttive e non distruttive, quando queste sono accettabili o no dal punto di vista conservativo. Vengono illustrati vantaggi e svantaggi di ogni sistema di misurazione. Per ogni sistema di misurazione vengono presentati i limiti di incertezza e i fattori che possono inficiare i dati rilevati e la loro interpretazione. Questo Standard europeo dà suggerimenti e supporto in questo campo complesso.*
EN 16883:2017	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per il miglioramento della prestazione energetica degli edifici storici***	*La presente norma europea fornisce linee guida per migliorare in modo sostenibile le prestazioni energetiche degli edifici storici, ad esempio edifici di valore storico, architettonico o culturale, nel rispetto del loro significato storico. L'uso di questa norma non è limitato agli edifici con designazione di patrimonio statutario, ma si applica agli edifici storici di tutti i tipi ed epoche. La presente norma europea presenta una procedura di lavoro normativa per la selezione delle misure volte a migliorare le prestazioni*

		energetiche, basata su un'indagine, un'analisi e una documentazione dell'edificio, compreso il suo significato storico. La procedura valuta l'impatto di tali misure in relazione alla conservazione degli elementi che definiscono il carattere dell'edificio.
UNI EN 16883:2017	***Conservazione dei beni culturali - Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici***	*La presente norma europea fornisce linee guida per il miglioramento sostenibile della prestazione energetica degli edifici storici, come edifici notevoli dal punto di vista storico, architettonico o culturale, nel rispetto del loro significato di bene culturale. L'uso della presente norma non è limitato agli edifici ufficialmente designati come bene culturale, ma si applica agli edifici storici di ogni tipo ed età. La presente norma europea presenta una procedura normativa di lavoro per la scelta degli interventi migliorativi della prestazione energetica, basata sulla investigazione, sull'analisi e sulla documentazione dell'edificio, compreso il suo significato di bene culturale. La procedura valuta l'impatto di questi interventi in relazione alla conservazione degli elementi caratterizzanti l'edificio.*
ISO/TR 19263-1:2017		*La norma ISO/TR 19263-1:2017 specifica come eseguire l'analisi della qualità dei sistemi di imaging (ad es. scanner piani, scanner planetari o fotocamere digitali) utilizzati per la digitalizzazione di originali bidimensionali riflettenti. I materiali originali includono, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, libri, documenti testuali, disegni, stampe, fotografie e dipinti. Alcuni tipi di materiali bidimensionali con geometrie superficiali complesse e/o elementi superficiali altamente riflettenti richiedono tecniche di illuminazione speciali che possono non rientrare nell'ambito di questo documento. NOTA: 192642 ISO/TS riguarderanno i materiali trasmissivi.*
EN 15759-2:2018	***Conservazione dei beni culturali - Clima interno - Parte 2: Gestione della ventilazione per la protezione degli edifici e delle collezioni dei beni culturali***	*La presente norma europea fornisce le linee guida per la gestione della ventilazione al fine di migliorare le condizioni di conservazione degli edifici del patrimonio culturale e delle loro collezioni. Allo stesso tempo, si mira a creare un ambiente interno per un uso sostenibile di questi edifici e delle loro collezioni. Questo standard è un complemento agli standard generali esistenti per la ventilazione che si concentrano sul comfort umano. La presente norma europea è la seconda parte di una norma sul clima interno negli edifici del patrimonio culturale, ovvero la EN 15759 1:2011. Dovrebbe essere utilizzato insieme alla prima parte quando si considera la selezione delle strategie di riscaldamento e dei sistemi di riscaldamento per gli edifici del patrimonio culturale o per gli edifici che ospitano collezioni. Può essere utilizzato anche quando si considerano altre questioni, ad esempio la valutazione degli edifici, degli interni e dei contenuti, o il miglioramento delle prestazioni energetiche. La presente norma europea si occupa delle condizioni climatiche interne, delle strategie di ventilazione e delle soluzioni tecniche generiche per la loro attuazione, ma non delle apparecchiature tecniche stesse.*

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***	*La presente norma fornisce delle linee guida per come gestire la ventilazione per la protezione degli edifici che appartengono al patrimonio culturale e delle collezioni in questi contenute. Contemporaneamente, è finalizzato a creare condizioni climatiche interne per un uso sostenibile di questi palazzi e delle loro collezioni. La presente norma è di complemento alle altre norme a carattere generale sulla ventilazione finalizzati al comfort umano. La presente norma è la seconda parte della norma sul clima all'interno negli edifici che appartengono al patrimonio culturale, precisamente EN 15759-1:2011. La presente norma va usata assieme alla prima parte quando si fanno delle scelte concernenti strategie e sistemi di riscaldamento per edifici che appartengono al patrimonio culturale, o per edifici che contengono collezioni. Può essere anche usata nel contesto di altri casi, come per esempio la sistemazione di edifici, interni e contenuto, o miglioramento delle prestazioni energetiche. La presente norma tratta delle condizioni climatiche all'interno, delle strategie della ventilazione e di generiche soluzioni tecniche per la loro implementazione, ma non entra in merito ai dispositivi tecnici.*
EN 16893:2018	***Conservazione dei Beni Culturali - Specifiche per l'ubicazione, la costruzione e la modifica di edifici o locali destinati alla conservazione o all'uso delle collezioni del patrimonio***	*La presente norma europea fornisce specifiche e linee guida per l'ubicazione, la costruzione e la sistemazione di edifici specificamente destinati allo stoccaggio interno di tutti i tipi e formati di collezioni del patrimonio. Questo standard si applica agli edifici in cui le collezioni sono ospitate in modo permanente e può essere utilizzato come guida per spazi espositivi a breve termine, se del caso. In tutto il documento, dove le specifiche si riferiscono esclusivamente agli spazi di stoccaggio, queste sono definite come tali. Laddove le specifiche possono essere applicate anche ad aree come gallerie espositive o sale di lettura, queste applicazioni sono citate esplicitamente. Le clausole relative ai rischi associati alla sicurezza, ai pericoli ambientali, agli incendi, all'acqua e ai parassiti si applicano agli edifici nel loro complesso e a tutti i locali in cui possono essere conservate le collezioni. Alcune delle clausole di questa norma possono essere applicabili negli edifici storici protetti che contengono collezioni. In questi contesti, la possibilità di eventuali modifiche o di raggiungere condizioni adatte alle collezioni può essere limitata dal carattere storico della struttura, soprattutto quando è protetta dalle norme sul patrimonio. NOTA Questa norma copre la struttura degli edifici che contengono collezioni del patrimonio, sia per l'archiviazione che per l'uso. Per una descrizione degli spazi tecnici di lavorazione consigliati nella progettazione specifica di un edificio di stoccaggio aperto al pubblico, si richiama l'attenzione sulla EN 16141. Questo standard dovrebbe essere visto come complementare alle normative e alle specifiche edilizie nazionali o locali.*
UNI EN 16893:2018	***Conservazione del patrimonio culturale - Specifiche per la scelta***	*La presente norma fornisce specifiche e costituisce una guida per quanto concerne la scelta del luogo, la costruzione e*

	del luogo, la costruzione e le modifiche di edifici o sale finalizzate al deposito o all'esposizione di collezioni del patrimonio culturale	*l'adattamento di edifici finalizzati al deposito o all'esposizione di ogni tipo e formato di collezioni del patrimonio culturale. La presente norma si applica a edifici dove le collezioni sono tenute permanentemente e può essere usata come guida per spazi espositivi temporanei, quando appropriato. Nel documento, dove le specifiche si riferiscono esclusivamente agli spazi di deposito, queste sono definite come tali. Dove le specifiche possono anche essere applicate a spazi come gallerie espositive o sale di lettura, viene fatto riferimento esplicito a queste applicazioni. I commi riferiti ai rischi relativi a sicurezza, rischi ambientali, incendio, inondazioni e parassiti si applicano agli edifici in toto e a ogni sala in cui possono essere conservate delle collezioni. Alcuni punti della norma possono essere applicabili a edifici storici protetti che contengono collezioni. In queste condizioni, lo scopo per qualsiasi modifica, o per raggiungere condizioni idonee alle collezioni può essere limitato dal carattere storico della struttura, specialmente quando questa è protetta da regolamenti per il patrimonio culturale.*
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***	*La presente norma fornisce delle linee guida per come gestire la ventilazione per la protezione degli edifici che appartengono al patrimonio culturale e delle collezioni in questi contenute. Contemporaneamente, è finalizzato a creare condizioni climatiche interne per un uso sostenibile di questi palazzi e delle loro collezioni. La presente norma è di complemento alle altre norme a carattere generale sulla ventilazione finalizzati al comfort umano. La presente norma è la seconda parte della norma sul clima all'interno negli edifici che appartengono al patrimonio culturale, precisamente EN 15759-1:2011. La presente norma va usata assieme alla prima parte quando si fanno delle scelte concernenti strategie e sistemi di riscaldamento per edifici che appartengono al patrimonio culturale, o per edifici che contengono collezioni. Può essere anche usata nel contesto di altri casi, come per esempio la sistemazione di edifici, interni e contenuto, o miglioramento delle prestazioni energetiche. La presente norma tratta delle condizioni climatiche all'interno, delle strategie della ventilazione e di generiche soluzioni tecniche per la loro implementazione, ma non entra in merito ai dispositivi tecnici.*
EN 17036:2018	***Conservazione dei Beni Culturali - Invecchiamento artificiale mediante radiazione solare simulata della superficie di materiali inorganici porosi non trattati o trattati***	*Questo documento valuta la suscettibilità alla luce a lungo termine dei materiali e dei trattamenti utilizzati nella conservazione dei materiali inorganici porosi. A titolo di esempio, i materiali che sono stati trattati nel corso della conservazione (ad esempio, la pulizia, il consolidamento, gli idrorepellenti, i rivestimenti o i biocidi) o i materiali che possono presentare variazioni di colore in seguito all'esposizione (ad esempio, malte e un numero ridotto di pietre). La procedura può essere utilizzata per valutare l'impatto e la longevità/durata dei trattamenti contro materiali non trattati o non esposti. NOTA 1 I materiali inorganici porosi sono sia le pietre naturali (rocce) che i*

		materiali lapidei artificiali (malte, stucchi, mattoni, materiali ceramici, ecc.). NOTA 2 I materiali trattati sono quelli su cui è stato applicato uno dei seguenti trattamenti: pulitura, applicazione di idrorepellenti, materiali consolidanti, rivestimenti o biocidi e invecchiamento artificiale.
UNI EN 17036:2018	***Conservazione del patrimonio culturale - Invecchiamento artificiale per simulazione di irraggiamento solare di materiali inorganici porosi, trattati e non trattati***	*La presente norma determina la suscettibilità alla luce a lungo termine di trattamenti utilizzati nella conservazione di materiali inorganici porosi. Alcuni esempi possono riguardare materiali che hanno subito un trattamento nel corso di un intervento di conservazione (per esempio pulitura, consolidamento superficiale, protezione idrorepellente, trattamento biocida) o materiali che possono avere subito una variazione cromatica in seguito all'esposizione (per esempio malte e alcune pietre naturali): la procedura può essere usata per valutare gli effetti dei trattamenti nell'immediato e nella loro evoluzione temporale in relazione a materiali non trattati oppure non esposti.*
EN 17114:2018	***Conservazione dei beni culturali - Protezione delle superfici per materiali inorganici porosi - Schede tecniche e chimiche dei prodotti idrorepellenti***	*Questo documento specifica le informazioni contenute nella scheda tecnica del prodotto al fine di consentire una selezione preliminare dei prodotti più idonei da utilizzare in uno specifico caso di intervento.*
EN 17138:2018	***Conservazione dei Beni Culturali - Metodi e materiali per la pulitura dei materiali inorganici porosi***	*Questo documento fornisce le linee guida per la scelta delle specifiche tecniche di pulizia operativa al fine di ottimizzare l'operazione di pulizia. Vengono forniti i requisiti fondamentali per ogni specifico metodo di pulizia, in modo da adattare i lavori di pulizia ai singoli casi specifici. L'obiettivo della pulizia può consistere nella rimozione di qualsiasi combinazione di materiali indesiderati, quali: rivestimenti protettivi degradati, materiali superficiali o vicini alla superficie, che costituiscono una minaccia presente o futura per la conservazione, materiali che impediscono la leggibilità dell'oggetto o sono deturpanti per natura, depositi che sono giudicati incompatibili con la natura storica dell'oggetto.*
ISO/TR 19815:2018	***Informazione e documentazione - Gestione delle condizioni ambientali per le collezioni archivistiche e librarie***	*Questo documento fornisce informazioni sulle recenti discussioni e sui cambiamenti nelle raccomandazioni e nelle linee guida sulla gestione ambientale nel campo dei beni culturali. Sono incluse le ricerche conservative sulle metodologie preventive e di controllo passivo fornite da specifici metodi di costruzione e ristrutturazione, gli sviluppi delle tecnologie per il controllo dell'ambiente, le questioni energetiche e climatiche. Il presente documento è destinato ad archivi e biblioteche e ad altre istituzioni con grandi volumi di collezioni basate su carta. Gli archivi e le biblioteche hanno anche collezioni che includono pellicole, supporti magnetici, pelle e altri materiali organici, inorganici o compositi. Queste istituzioni hanno una sfida unica nel prolungare la durata di vita di questi materiali per l'accesso e l'uso nel presente e per le generazioni future. L'ambiente gioca un ruolo chiave nel prolungare la durata*

		di vita di tutti questi materiali. Il presente documento è destinato alla pianificazione della conservazione e alla gestione ambientale continua delle condizioni di conservazione permanente degli archivi e delle collezioni delle biblioteche e si applica a tutte le collezioni conservate in modo permanente per un'istituzione.
UNI EN 17114:2019	***Conservazione del patrimonio culturale - Protettivi superficiali per materiali inorganici porosi - Scheda tecnica di prodotti idrorepellenti***	*La norma specifica quali informazioni deve essere contenuta nelle schede tecniche dei prodotti, al fine di permetterne una selezione preliminare ed individuare i più adatti ad essere utilizzati in un determinato caso di applicazione.*
UNI EN 17138:2019	***Conservazione del Patrimonio Culturale - Metodi e materiali per la pulitura di materiali inorganici porosi***	*La norma fornisce le linee guida per la scelta delle specifiche tecniche operative, utili al fine di ottimizzare le operazioni di pulitura. Sono indicati i requisiti fondamentali per ciascuno specifico metodo di pulitura, in modo da adattare le operazioni di pulitura ai singoli casi. L'obiettivo di una pulitura consiste nella rimozione dei materiali indesiderati come prodotti protettivi alterati, materiali di neoformazione dalle aree prossime alla superficie che costituiscono una minaccia ad una appropriata conservazione, materiali che impediscono la corretta leggibilità del manufatto in questione oppure che sono deturpanti per loro stessa natura e depositi giudicati incompatibili con la natura storica dell'oggetto.*
EN 15898:2019	***Conservazione dei beni culturali - Principali termini generali e definizioni***	*Il presente documento definisce i principali termini generali utilizzati nel campo della conservazione dei beni culturali con particolare attenzione a quei termini che hanno ampio uso o significato.*
UNI EN 15898:2019	***Conservazione del patrimonio culturale - Termini generali e definizioni***	*La norma definisce i termini generali nel settore della conservazione del patrimonio culturale, con particolare riferimento a quelli che hanno un utilizzo o un valore descrittivo per più materiali.*
UNI/PdR 56:2019	***Certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile***	*La prassi di riferimento stabilisce le linee guida per la certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive (PND) nel campo dell'ingegneria civile, inclusi i beni culturali e architettonici*
UNI 11769:2020	***Applicazioni per i beni culturali (ABC) - Elementi per la valutazione di applicazioni per la descrizione e l'ordinamento d'archivio (VADO)***	*La norma individua e presenta sistematicamente le caratteristiche che possono assumere rilievo nella valutazione dei programmi per la descrizione e l'ordinamento d'archivio.*
EN 17121:2019	***Conservazione dei beni culturali - Strutture storiche in legno - Linee guida per la valutazione in sito delle strutture portanti in legno***	*Questo documento fornisce linee guida sui criteri da utilizzare per la valutazione in loco delle strutture portanti in legno negli edifici storici. È destinato a tutti coloro che si occupano della conservazione degli edifici storici che contengono elementi in legno, dai proprietari degli edifici o dalle autorità che ne sono responsabili ai professionisti impiegati. Dovrebbe inoltre aiutare il processo decisionale in merito alla necessità di misure immediate. Il suo scopo è quello di garantire che il rilievo e la valutazione delle condizioni forniscano i dati necessari per l'analisi storica, la valutazione della sicurezza strutturale e la pianificazione*

		delle opere di intervento. Questo documento è applicabile a qualsiasi tipo di elemento in legno e a qualsiasi tipo di struttura storica in legno. Non è applicabile agli elementi in legno costituiti da pannelli a base di legno ingegnerizzato e legno lamellare incollato. Questo documento fornisce una procedura completa per la valutazione in loco. Con una valutazione pratica e tecnica del danno riscontrato e basata sulla responsabilità dei professionisti coinvolti, una valutazione sufficiente può essere effettuata anche quando non vengono seguiti tutti i passaggi. In ogni diverso paese, ci si aspetta che il documento venga applicato in conformità con la legislazione e i regolamenti nazionali.
UNI EN 17121:2019	***Conservazione del patrimonio culturale - Strutture storiche in legno - Linee guida per la valutazione in situ di strutture in legno portanti***	*La norma fornisce le linee guida sui criteri da utilizzare per la valutazione in situ di strutture portanti in legno negli edifici storici. È destinata a tutti coloro che si occupano della conservazione degli edifici del patrimonio che contengono elementi in legno, dai proprietari degli edifici o dalle autorità che ne sono responsabili ai professionisti che sono coinvolti. Dovrebbe inoltre supportare il processo decisionale in merito alla necessità di misure immediate. Il suo scopo è garantire che il rilevamento e la valutazione delle condizioni forniscano i dati necessari per l'analisi storica, la valutazione della sicurezza strutturale e la pianificazione delle opere di intervento. La norma è applicabile a qualsiasi tipo di elemento in legno e a qualsiasi tipo di strutture storiche in legno. Non si applica agli elementi in legno realizzati con pannelli a base di legno lamellare incollato o pannelli di legno assemblati. La norma fornisce una procedura completa per la valutazione in situ. È possibile effettuare una valutazione sufficiente anche quando non vengono seguite tutte le fasi a condizione che venga effettuata una valutazione pratica e tecnica del danno riscontrato basata sulla responsabilità dei professionisti coinvolti. In ogni paese, il documento dovrebbe essere applicato in conformità con la legislazione e le normative nazionali.*
CEN/TS 17135:2020	***Conservazione dei beni culturali - Termini generali per descrivere le alterazioni degli oggetti***	*Il presente documento definisce i termini utilizzati nel campo della conservazione dei beni culturali per la descrizione dell'alterazione degli oggetti con particolare attenzione a quei termini che vengono applicati a molte tipologie di oggetti. Il presente documento si applica a tutti i tipi di modifiche sostanziali che possono essere osservate.*
EN 17187:2020	***Conservazione dei Beni Culturali - Caratterizzazione delle malte utilizzate nei beni culturali***	*Il presente documento specifica una metodologia per la caratterizzazione delle malte utilizzando le tecniche analitiche più appropriate su campioni prelevati da strutture e oggetti dei beni culturali. Questo documento contiene le linee guida per la selezione dei metodi per determinare le proprietà mineralogiche, tessiturali, fisiche, chimiche e meccaniche delle malte utilizzate nelle strutture e negli oggetti dei beni culturali. Queste informazioni vengono utilizzate per definire la tipologia di malta e per valutare le condizioni della malta rispetto alla sua conservazione,*

		nonché per comprendere i processi di deterioramento in corso.
UNI EN 17187:2020	***Conservazione del patrimonio culturale - Caratterizzazione delle malte utilizzate nel patrimonio culturale***	*La norma specifica una metodologia per la caratterizzazione delle malte utilizzando le tecniche analitiche più appropriate su campioni prelevati da strutture e manufatti del patrimonio culturale. La norma contiene linee guida per la selezione di metodi per determinare la composizione mineralogica, le caratteristiche tessiturali e le proprietà fisiche, chimiche e meccaniche delle malte utilizzate nelle strutture e manufatti del patrimonio culturale. Queste informazioni vengono utilizzate per definire la tipologia di malta e per valutarne le condizioni in funzione della sua conservazione, nonché per comprendere i processi di degrado in atto.*
EN 17429:2020	***Conservazione dei beni culturali - Appalti di servizi e lavori di conservazione***	*Il presente documento delinea i principi, i processi e le migliori pratiche per l'approvvigionamento di servizi e opere di conservazione per i beni culturali. Questo può comprendere qualsiasi azione o misura di conservazione, che si tratti di una misura preventiva, di un trattamento correttivo, di un'indagine, di una pianificazione, di una politica o di una gestione del progetto, ecc. Il presente documento comprende diversi percorsi di approvvigionamento a seconda, tra l'altro, dell'entità del lavoro previsto. Il presente documento è destinato ad essere letto insieme alle normative pertinenti in materia di appalti ed è tecnicamente specifico per la conservazione del patrimonio culturale. Il presente documento non intende prevalere o entrare in conflitto con la legislazione europea e nazionale in materia di appalti. Il presente documento è destinato ad essere utilizzato - dai commissari delle attività di conservazione (ad esempio custodi, individui pubblici o privati, istituzioni di raccolta, specialisti della conservazione, organizzazioni di finanziamento della conservazione, ecc.) e - da quegli individui e imprese che cercano di svolgere attività di conservazione.*
UNI EN 17429:2020	***Conservazione del patrimonio culturale - Modalità di appalto di lavori e servizi per la conservazione***	*La norma illustra i principi, i processi e le procedure auspicabili per l'acquisizione di opere e servizi per la conservazione del patrimonio culturale. Il documento riguarda qualsiasi azione o attività di conservazione, sia che si tratti di una misura preventiva, di un trattamento correttivo, di indagini, della pianificazione, della politica, o della realizzazione del progetto, ecc.*
UNI CEN/TS 17135:2021	***Conservazione del patrimonio culturale - Termini generali per descrivere le alterazioni degli oggetti***	*La specifica tecnica definisce i termini utilizzati nel campo della conservazione dei beni culturali per la descrizione dell'alterazione di oggetti con particolare attenzione a quei termini che vengono applicati a molteplici tipologie di oggetti. La specifica tecnica si applica a tutti i tipi di modificazioni che possono essere osservate.*
EN 17488:2021	***Conservazione dei beni culturali - Procedura per la valutazione analitica per la selezione dei metodi di pulitura dei materiali***	*Questo documento fornisce la metodologia di prova per la valutazione della nocività e dell'efficacia di un metodo di pulizia applicato a materiali inorganici porosi. Sono esclusi i dipinti murali e la policromia. La valutazione comprende*

	inorganici porosi utilizzati nei beni culturali	*l'uso di analisi in loco e/o studi di laboratorio. La valutazione del potenziale danno ha una priorità più alta dell'efficacia al fine di prevenire un'eccessiva pulizia. È importante che la pulizia sia sempre al livello minimo ritenuto efficace e che rispetti la superficie e le finiture originali. L'eccessiva pulizia è un termine usato per indicare che è stato fatto un danno irreversibile dalla rimozione non necessaria di materiali, che fanno parte del valore dell'oggetto. Il presente documento si applica a: a) Parte A: tutti i metodi di pulizia, che hanno caratteristiche di parametrizzazione e riproducibilità (vedi EN 17138). b) Parte B: tutti i nuovi metodi in fase di sviluppo. Questo documento serve a valutare i metodi ottimali per la pulizia e l'ottimizzazione dei parametri del processo di pulizia selezionato.*
UNI EN 17488:2021	***Conservazione del Patrimonio Culturale - Selezione di metodi di pulitura per materiali inorganici porosi utilizzati nel Patrimonio Culturale - Procedura di valutazione analitica***	*La norma fornisce una metodologia per la valutazione sia dell'efficacia che del potenziale danno di un metodo di pulitura, utilizzato su materiali inorganici porosi. Le pitture murali sono escluse così come i manufatti policromi. La metodologia di valutazione include l'uso di metodi diagnostici in situ insieme con studi di laboratorio.*
EN 17543:2021	***Conservazione dei Beni Culturali - Finiture del patrimonio costruito - Indagine e documentazione***	*Questo documento definisce le migliori pratiche per la raccolta dei dati e l'elaborazione dei risultati durante l'indagine sulle finiture del patrimonio costruito, con l'obiettivo di stabilire schemi esistenti. Si applica alle finiture decorative e protettive degli edifici e dei loro interni, nonché ad altri oggetti del patrimonio costruito. Il presente documento si applica alla pianificazione e all'esecuzione di tali indagini con documentazione completa. Può essere utilizzato come riferimento di processo per le parti interessate coinvolte nell'indagine del patrimonio costruito.*
UNI EN 17543:2021	***Conservazione del Patrimonio Culturale - Finiture per il patrimonio costruito - Indagini e documentazione***	*La norma definisce le migliori pratiche per la raccolta dei dati e l'elaborazione dei risultati quando si indagano le finiture del patrimonio costruito, con l'obiettivo di stabilire degli schemi per le situazioni esistenti. Si applica alle finiture decorative e protettive degli edifici e dei loro interni, così come ad altri oggetti del patrimonio costruito. Il presente documento si applica alla pianificazione e all'esecuzione di tali indagini con la relativa documentazione. Può essere utilizzato come riferimento di processo per le parti interessate coinvolte nell'indagine del patrimonio costruito.*
ISO 19264-1:2021	***Fotografia - Sistemi di archiviazione - Analisi della qualità dei sistemi di imaging - Parte 1: Originali riflettenti***	*Questo documento descrive un metodo per analizzare la qualità dei sistemi di imaging nell'area dell'imaging dei beni culturali. Il metodo descritto analizza le caratteristiche di qualità di più sistemi di imaging a partire da una singola immagine di un target di test specificato. La specifica indica quali caratteristiche vengono misurate, come vengono misurate e come devono essere presentati i risultati dell'analisi. La presente specifica si applica agli scanner e alle fotocamere digitali utilizzati per la digitalizzazione del materiale del patrimonio culturale. NOTA Questo*

		documento riguarda l'imaging di originali riflettenti, una seconda parte futura tratterà l'imaging di originali trasparenti.
UNI 11867:2022	***Prove non distruttive - Indicazioni generali per il corretto utilizzo della termografia all'infrarosso***	*La norma si propone di fornire indicazioni di base per un corretto uso della termografia all'infrarosso. I principali campi di applicazione sono: - controllo non distruttivo di materiali e manufatti; - controllo qualità di processi produttivi; - edilizia e beni culturali; - fluidodinamica; - ispezione e manutenzione; - medicina e veterinaria; - meteorologia; - monitoraggio prove meccaniche; - settore elettrico/elettronico; - settore ricerca e sviluppo (tale settore è da ritenersi anche trasversale ad altri campi di applicazione sopra elencati).*
EN 17652:2022	***Beni culturali - Valutazione e monitoraggio dei depositi archeologici per la conservazione in situ***	*Questo documento descrive le valutazioni raccomandate per la conservazione e il monitoraggio in situ dei siti archeologici. Stabilisce i principali parametri utilizzati per valutare lo stato di conservazione dei materiali archeologici e valutare le condizioni ambientali dei depositi archeologici e fornisce un quadro per il monitoraggio dei siti. È incluso un quadro decisionale per aiutare i lettori a fare scelte appropriate basate sulla conoscenza. Le procedure descritte sono appropriate per siti archeologici terrestri, umidi o subacquei. Non saranno necessariamente pertinenti per tutti i siti archeologici e il livello di valutazione richiesto e le risorse necessarie dovrebbero essere bilanciati e proporzionati all'importanza e alla complessità del sito e alla portata di eventuali modifiche proposte. Gli allegati informativi si riferiscono principalmente ai siti terrestri; Per una guida tecnica dettagliata sull'indagine e il monitoraggio dei siti sottomarini, vedere sasmap.eu. NOTA: I siti subacquei comprendono tutti i siti subacquei e quelli nella zona intertidale.*
UNI EN 17652:2022	***Patrimonio culturale - Valutazione e monitoraggio dei depositi archeologici per la conservazione in situ***	*La norma descrive le valutazioni raccomandate per la conservazione in situ e il monitoraggio dei siti archeologici. Illustra i principali parametri utilizzati per valutare lo stato di conservazione dei materiali archeologici e le condizioni ambientali dei depositi archeologici e fornisce un quadro di riferimento per il monitoraggio dei siti.*
EN 17655:2022	***Conservazione dei beni culturali - Determinazione dell'assorbimento d'acqua con il metodo della spugna a contatto***	*Questo documento stabilisce la metodologia per misurare la quantità di acqua assorbita da una superficie definita di un materiale inorganico poroso utilizzato e costituente un bene culturale, mediante il metodo della spugna a contatto. Il metodo può essere utilizzato su materiali inorganici porosi che non sono trattati o hanno subito qualsiasi trattamento o invecchiamento. Il metodo può essere utilizzato sia in laboratorio che in situ su superfici piane. NOTA 1 I materiali trattati sono quelli che sono stati sottoposti a pulizia; all'applicazione di prodotti idrorepellenti, consolidanti e/o biocidi; a test di invecchiamento artificiale, ecc. NOTA 2 Il test non è destinato all'uso su superfici gravemente deteriorate, dove l'applicazione della spugna può causare perdite di materiale. L'operatore è tenuto a*

		garantire un buon contatto con il perimetro del container. Il test non è accurato se applicato su superfici ruvide.
UNI EN 17655:2022	***Conservazione del Patrimonio Culturale - Determinazione dell'assorbimento di acqua mediante il metodo della spugna di contatto***	*La norma stabilisce il metodo per misurare la quantità di acqua assorbita mediante spugna di contatto, da parte di una determinata superficie di un materiale inorganico poroso presente nei Beni Culturali. Il metodo è applicabile sia su materiali inorganici porosi non trattati, che su materiali che abbiano ricevuto un trattamento, oppure che abbiano subito un invecchiamento. Il metodo può essere applicato in laboratorio, ma anche in situ su superfici sufficientemente piane.*
EN 17820:2023	***Conservazione dei Beni Culturali - Specifiche per la gestione delle collezioni mobili dei beni culturali***	*Il presente documento specifica un quadro e gli standard per la gestione delle collezioni del patrimonio culturale. È destinato all'uso da parte di organizzazioni di raccolta come archivi, biblioteche, musei e gallerie. È applicabile a tutti i tipi di beni culturali mobili, sia in formato fisico che digitale. Promuove le politiche e le procedure essenziali che tutte queste organizzazioni cercano di applicare come minimo e incoraggia un ciclo di revisione e miglioramento continui.*
UNI EN 17820:2023	***Conservazione del Patrimonio Culturale - Norme per la gestione delle collezioni di opere d'arte mobili***	*La norma specifica i termini e gli standard per la gestione delle collezioni di opere d'arte mobili. Si intende l'utilizzo da parte di enti proprietari di collezioni come archivi, biblioteche, museo e gallerie. Il presente documento si applica a ogni tipo di opere d'arte mobili, sia in formato fisico, che digitale. Esso promuove il nucleo di policy e procedure essenziali che gli enti si impegnano ad applicare e incentiva un ciclo di revisione e di miglioramento.*
EN 17891:2023	***Conservazione dei beni culturali - Dissalazione di materiali inorganici porosi mediante cataplasmi***	*Questo documento specifica una metodologia per l'applicazione di cataplasmi per la desalinizzazione di substrati porosi costituenti beni culturali. La metodologia di desalinizzazione può essere applicata: - a materiali inorganici porosi caricati con sale interessati dall'erosione salina, e/o - per consentire trattamenti di conservazione incompatibili con la contaminazione da sali solubili, o - per prevenire danni da sale laddove la contaminazione è nota per essere presente. In tutti i casi la desalinizzazione mira a diminuire il contenuto di sale. Inoltre, questo documento fornisce i requisiti fondamentali per l'operazione di desalinizzazione e le linee guida per la scelta dei componenti dell'impiastro più appropriati in base alle caratteristiche del substrato e ai tipi/quantità di sale presenti al fine di ottimizzare il processo di desalinizzazione.*
UNI EN 17891:2023	***Conservazione del Patrimonio Culturale - Desalinizzazione di materiali inorganici porosi per mezzo di impacchi***	*La norma specifica una metodologia per l'applicazione di impacchi per la desalinizzazione di substrati inorganici porosi, costituenti il patrimonio culturale. Il metodo di desalinizzazione può essere applicato: - a materiali inorganici porosi interessati da un contenuto di sali solubili responsabili di degrado e/o - per permettere trattamenti conservativi incompatibili con una contaminazione da sali solubili o - per prevenire il danno dovuto alla presenza di sali, quando questa sia accertata. In tutti i casi la desalinizzazione ha l'obiettivo di ridurre il contenuto salino.*

		Inoltre, il presente documento fornisce la lista dei requisiti fondamentali per l'operazione di desalinizzazione e le linee guida per la scelta dei componenti dell'impacco più appropriati, in funzione delle caratteristiche del substrato e della tipologia/quantità dei sali solubili presenti, al fine di ottimizzare il processo di desalinizzazione.
UNI 11897:2023	***Conservazione del patrimonio culturale - Linee guida per l'applicazione dei criteri generali di qualità negli interventi di conservazione e restauro dei beni culturali***	*La norma fornisce alcuni strumenti metodologici atti a definire i concetti di qualità e le linee guida relativi alle varie fasi operative previste dal progetto d'intervento. La presente norma è applicabile in tutte le fasi del processo di conservazione dei beni culturali tangibili.*
ISO 21127:2023	***Informazione e documentazione - Un'ontologia di riferimento per l'interscambio di informazioni sui beni culturali***	*Questo documento fornisce una conoscenza curata e fattuale del passato a misura d'uomo. Specifica tutte le informazioni necessarie per lo scambio e l'integrazione di documentazione scientifica e accademica eterogenea sul passato a scala umana e le prove documentate ed empiriche disponibili a tal fine. Una definizione più dettagliata e utile può essere articolata definendo sia l'ambito di applicazione previsto, una definizione ampia e massimamente inclusiva di principi generali di applicazione, sia l'ambito pratico, che è espresso dall'ambito generale di un insieme di riferimento crescente di standard e pratiche di documentazione specifici e identificabili che questo documento mira a descrivere semanticamente, ristretto, sempre, nei suoi dettagli alle limitazioni dell'ambito previsto. L'ambito pratico del presente documento è espresso in termini di insieme di norme di riferimento e di norme di fatto per documentare la conoscenza dei fatti. Il presente documento copre lo stesso ambito di discorso dell'unione di questi standard di riferimento; ciò significa che per i dati correttamente codificati secondo questi formati di documentazione può esistere un'espressione compatibile con ISO 21127 che trasmette lo stesso significato.*
UNI 11931:2024	***Certificazione del personale tecnico addetto all'esecuzione delle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali ed architettonici***	*La norma definisce i principi, i criteri e le procedure per la gestione delle attività relative alla certificazione ed al successivo mantenimento della certificazione al livello 1, 2 e 3 del personale tecnico addetto all'esecuzione delle prove non distruttive (PND) nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali e architettonici, fatte salve le procedure già codificate da altre norme tecniche di settore. L'argomento oggetto della presente norma nasce dall'esperienza maturata con l'applicazione da parte del mercato della UNI/PdR 56:2019 "Certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile".*
UNI 11931:2024	***Certificazione del personale tecnico addetto all'esecuzione delle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali ed architettonici***	*La norma definisce i principi, i criteri e le procedure per la gestione delle attività relative alla certificazione ed al successivo mantenimento della certificazione al livello 1, 2 e 3 del personale tecnico addetto all'esecuzione delle prove non distruttive (PND) nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali e architettonici, fatte salve le procedure già codificate da altre norme tecniche di settore. L'argomento*

		oggetto della presente norma nasce dall'esperienza maturata con l'applicazione da parte del mercato della UNI/PdR 56:2019 "Certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile".
EC 1-2024 UNI 11931:2024	***Certificazione del personale tecnico addetto all'esecuzione delle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali ed architettonici***	*Errata corrige 1 del 13/02/2024 alla UNI 11931:2024*
EC 2-2024 UNI 11931:2024	***Certificazione del personale tecnico addetto all'esecuzione delle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali ed architettonici***	*Errata corrige 2 del 16/04/2024 alla UNI 11931:2024*

Norma in materia di Misure elettriche ed elettroniche		
UNI ISO 5725-1:2024	***Accuratezza (esattezza e precisione) di metodi e risultati di misurazione - Parte 1: Principi generali e definizioni***	*La norma, parte della serie ISO 5725: - introduce le condizioni, i vincoli e le risorse necessarie per valutare un metodo di misurazione o un risultato; - definisce uno schema organizzativo per l'acquisizione di dati di esattezza e precisione mediante studio; - fornisce le definizioni, il modello statistico e i principi necessari per la ISO 5725 (tutte le parti). - non è applicabile alle prove valutative o alla produzione di materiali di riferimento che hanno norme proprie (rispettivamente ISO 13528 e ISO Guide 35).*

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutata durante tutto il periodo del mio dottorato di ricerca, anzitutto i miei tutor la professoressa Anna M. Gueli ed il professore Carlo Trigona che mi hanno sempre spronata ad ampliare le mie conoscenze con i loro suggerimenti e le loro osservazioni.

Il coordinatore del corso il professore Pietro Maria Militello ed il responsabile ufficio di progetto il dottor Natale Patania per la loro disponibilità.

I professori Salvatore Graziani e Giuseppe Stella che hanno reso il mio avvicinamento alle materie scientifiche meno traumatico di quello che poteva essere, tra un libro ed un "stai serena".

Il professore Salvatore Gallo che mi ha spronata ad osservare (a posteriori) tutte le sfaccettature di un percorso così ampio e complesso.

I professori Sebastiano d'Amico ed Alfred Micallef che mi hanno accolta e guidata durante il periodo speso presso l'Università 'ta Malta. Don Gino e la sua comunità, che mi hanno consentito con interesse di effettuare parte del mio progetto presso la Chiesa di Santa Caterina a Malta.

Un ringraziamento particolare va ai colleghi ed agli amici che mi hanno incoraggiato e che in alcuni casi hanno speso parte del proprio tempo per leggere e discutere con me le bozze del lavoro. Vorrei infine ringraziare le persone a me più care: i miei amici, la mia famiglia ed infine la mia fidanzata, a loro dedico tutto il mio lavoro.