



Ricerca di Sistema elettrico

Analisi microclimatica ai fini della conservazione
dei beni culturali nei musei situati nelle sedi della
Grande Miniera di Serbariu.

F. Poggi, S. Pili, E. Loria, C. Frau

ANALISI MICROCLIMATICA AI FINI DELLA CONSERVAZIONE DEI BENI CULTURALI NEI MUSEI SITUATI NELLE SEDI DELLA GRANDE MINIERA DI SERBARIU

Francesca Poggi, Stefano Pili, Eusebio Loria, Caterina Frau (Sotacarbo)

Gennaio 2019

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Progetto: *Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB)*

Parte B: Edifici ad energia quasi zero(nZEB)

Tema a: Riqualificazione energetica di edifici con interventi di efficientamento

Sottotema a.2: Analisi del confort climatico

Responsabile del Progetto: dott.ssa Franca Rita Picchia, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Tecnologie e metodologie Low Carbon e Edifici ad energia quasi zero (nZEB)*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: ing. Enrico Maggio

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
2 GLI EDIFICI OGGETTO DI INDAGINE.....	8
3 METODOLOGIA ADOPERATA PER L'ANALISI DELLE CONDIZIONI DI CONSERVAZIONE DEI BENI ESPOSTI – MUSEO DEI PALEO AMBIENTI SULCITANI	9
3.1 STRUMENTAZIONE ADOPERATA	9
3.2 LA SALA ESPOSITIVA PRINCIPALE	10
3.3 I REPERTI ESPOSTI.....	11
3.4 MONITORAGGIO E RISULTATI SPERIMENTALI	11
3.5 ESITO DEL MONITORAGGIO	28
4 IL MUSEO DEL CARBONE	30
4.1 LA SALA ESPOSITIVA PRINCIPALE	30
4.2 METODOLOGIA	30
4.3 RISULTATI OTTENUTI	38
4.4 ESITO DEL MONITORAGGIO	44
5 CONCLUSIONI.....	45
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	46

Sommario

Il presente lavoro, sviluppato nel trimestre ottobre-dicembre 2018, costituisce una integrazione del report "Analisi del comfort microclimatico degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu - PAR2017". L'obiettivo della ricerca è quello di approfondire alcune tematiche legate al comfort indoor, studiando ed analizzando l'evoluzione nel tempo dei principali parametri termo-igrometrici, per la valutazione delle condizioni ambientali di conservazione dei beni collocati all'interno delle aree espositive degli edifici pubblici storici appartenenti all'area della Grande Miniera di Serbariu (Museo del Carbone, Museo dei Paleo Ambienti Sulcitani - PAS).

In risposta, i risultati ottenuti dall'indagine consentiranno di avere un quadro completo del macro e microclima indoor, supportando una buona pratica preventiva al fine di assicurare la durabilità delle opere nel tempo.

1 Introduzione

Questo lavoro si inserisce negli studi svolti in seno all'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Sotacarbo fanno parte del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2018, riferito alla estensione della terza annualità dell'Accordo di Programma MiSE-ENEA 2015-2017, in particolare rivolto allo sviluppo di una ricerca dal titolo "PARTE B: Edifici ad energia quasi-zero" facente capo al piano annuale di realizzazione 2016 dell'Accordo di Programma MiSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, ed in particolare agli ambiti attinenti il Tema di Ricerca "Edifici a energia quasi zero (nZEB)", Progetto A "Riqualificazione energetica di edifici con interventi di efficientamento", Obiettivo a.2 "Analisi del comfort climatico".

Le precedenti ricerche (Analisi del comfort microclimatico degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu Report - PAR2017) hanno evidenziato, sia per il museo dei Paleo Ambienti Sulcitani che per il museo del Carbone, scarse condizioni di comfort interno sia per la stagione estiva che per quella invernale, causate oltre che dalla mancanza di sistemi di controllo climatico anche dalla presenza di copiose infiltrazioni meteoriche.

In questo tipo di strutture è molto frequente che il comfort interno richiesto per gli occupanti non sia adeguato per il mantenimento delle condizioni ottimali di conservazione dei beni esposti e viceversa. Questo lavoro approfondisce le tematiche inerenti al comfort, investigando sulle condizioni micro-climatiche di conservazione dei reperti esposti all'interno delle sale espositive principali degli edifici oggetto di studio.

Da molti anni la ricerca si occupa del monitoraggio di edifici storici e museali, dimostrando particolare interesse nella definizione delle condizioni di benessere atte a garantire una corretta conservazione dei materiali e/o manufatti di rilevanza storica, artistica e culturale negli ambienti ad essi dedicati. Il controllo microclimatico richiede particolare attenzione non solo per la grande varietà di oggetti, spesso esposti in ambienti comuni, ma soprattutto per i diversi valori termo-igrometrici che devono essere mantenuti per assicurare la durabilità delle opere nel tempo [1, 2].

Il processo di deterioramento dei materiali è generalmente favorito dalle fluttuazioni dei valori di temperatura e umidità relativa all'interno dell'ambiente, derivanti, non solo dalle condizioni climatiche esterne, ma anche da fattori interni, quali la presenza di carichi dovuti all'occupazione delle persone o alla presenza degli impianti di illuminazione [3]. Il verificarsi di tali fenomeni comporta l'innescò di processi chimici, fisici e biologici, implicanti l'accelerazione del normale corso di degrado [4].

Brusche variazioni o fluttuazioni di valori di temperatura e umidità relativa differenti da quelli ricadenti nell'intervallo di benessere, per il particolare materiale o per il singolo oggetto, producono danni non solo sul lungo periodo, ma anche nel breve, causandone alterazioni spesso irreversibili.

In particolare, i parametri ambientali che maggiormente influiscono sulla conservazione degli oggetti collocati all'interno di edifici storici o teche espositive sono [5,6]:

- radiazioni elettromagnetiche provenienti da sorgenti di luce naturale ed artificiale;
- qualità dell'aria interna (polveri e gas inquinanti presenti nell'aria);
- condizioni termo-igrometriche sia dell'aria in prossimità dell'oggetto, che delle superfici ove sono collocate le opere. Nello specifico:
 - le alte temperature dell'aria, a differenza delle basse, possono essere dannose perché favoriscono i processi degenerativi di carattere chimico;

- la fluttuazione nel tempo della temperatura dell'aria a contatto con l'oggetto induce in quest'ultimo uno stress termico, provocando dilatazioni;
- l'umidità relativa influenza la volumetria e la forma degli oggetti ed i processi chimici e biologici. In particolare: tutti i materiali organici in grado di assorbire acqua (legno, cuoio, carta, etc.) si dilatano quando l'umidità relativa cresce e si restringono quando essa diminuisce, con conseguenti variazioni di peso, deformazioni, crepe e fessurazioni;
- valori dell'umidità relativa maggiori del 45% favoriscono diverse reazioni chimiche, tra cui la corrosione dei metalli, lo scolorimento delle tinture su cotone, lino e lana;
- valori di umidità relativa superiori al 65% con valori di temperatura maggiori di 20°C, favoriscono lo svilupparsi di muffe ed accelerano i cicli vitali di numerosi e dannosi insetti.

Le condizioni termo-igrometriche ottimali sono fortemente variabili, a seconda della tipologia di opere esposte e spesso contrastano con le condizioni interne di comfort richieste per gli occupanti. Nei musei è pertanto necessario assicurare la flessibilità degli impianti, rispondente alle differenti configurazioni espositive e alla rapida variabilità dei carichi endogeni legati, principalmente, alla variazione del numero di visitatori presenti all'interno degli ambienti.

In Italia, le condizioni ambientali di conservazione negli edifici museali sono normate dalla *UNI 10829:1999 "Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi"* [7] e dal *DM del 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei"* [8].

In particolare:

la *UNI 10829* fornisce, ai fini della conservazione di beni di interesse storico e artistico, una metodologia per la misurazione in campo delle grandezze ambientali termo-igrometriche e di illuminazione, indicando modalità di elaborazione e sintesi dei dati rilevati finalizzata al contenimento dei processi di degrado [9]. La norma riporta anche i valori di riferimento consigliati per la progettazione di impianti di climatizzazione, da inserirsi in ambienti contenenti beni di interesse culturale.

il DM fornisce criteri tecnico-scientifici indirizzati sia alla conoscenza che alla salvaguardia dei beni. Esso, inoltre, specifica informazioni in merito alla documentazione necessaria ai fini conservativi, definendo i parametri ambientali da controllare, le caratteristiche delle teche ed i rischi che si corrono nella movimentazione delle opere.

Nella tab. 1 sono riportati i valori consigliati dalla *UNI 10829:1999* e relativi alle variabili termo-igrometriche, indicanti le condizioni di ottimo per le diverse tipologie di materiali e/o oggetti.

Tabella 1.1. Intervallo di accettabilità di temperatura e umidità relativa per alcune categorie di beni secondo la UNI10829

Materiali costituenti la collezione	T (°C)	ΔT (°C)	UR (%)	ΔUR (%)
a) materiali/ oggetti di natura organica				
Manufatti artistici in carta, cartapesta, lavori artistici in cartavelina, manoscritti, papiri, stampe, materiali in cellulose	18-22	1,5	40-55	6
Tessuti, tendaggi, tappeti, tappezzeria in stoffa, seta, costumi, abiti	19-24	1,5	30-50	6
Cere, cere anatomiche	<18	N.R.	N.R.	N.R.
Documenti archivistici su carta o pergamena e materiale d'archivio	13-18		50-60	
Libri preziosi, libri rilegati in pelle, pergamena, miniature	19-24	1,5	45-55	6
b) materiali/ oggetti di natura inorganica				
Pietre, rocce, minerali, meteoriti (porosi)stabili	19-24		40-60	6
Mosaici di pietre, pietre, rocce, minerali, meteoriti (non porosi), fossili e collezioni di pietre	15-25		20-60	10
Metalli, metalli levigati, leghe metalliche, argenti, armature, armi, bronzi, monete, oggetti in rame, stagno, ferro, acciaio, piombo	N.R.		<50	
Metalli con siti di corrosione attivi	N.R.		<40	
Ori	N.R.		N.R.	
c) oggetti misti				
Fibre sintetiche	19-24		40-60	
Film, fotografie a colori	0-15		30-45	
Film, fotografie in bianco e nero	0-15		30-45	
Materie plastiche	19-24		30-50	
N.R.= non rilevante				

Questa seconda tabella, riporta la “Suddivisione dei beni confinati in base alle categorie di fotosensibilità” (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. M..7.2000):

Tabella 1.2. Suddivisione dei beni confinati in base alle categorie di fotosensibilità

Categoria fotosensibilità	Beni confinati	Illuminamento massimo (lux)
1 Molto bassa	Reperti e manufatti relativamente insensibili alla luce: metalli, materiali lapidei e stucchi senza strato di finitura, < 300, con limitazioni sugli effetti termici in particolare per ceramiche, gioielleria, smalti, vetri, vetrate policrome, stucchi, smalti, vetrate e fossili. reperti fossili.	
2 Media	Reperti e manufatti moderatamente sensibili alla luce: pitture ad olio ed a tempera verniciate, affreschi-materiali organici (corno, osso, avorio, legno).	150
3 Alta	Reperti e manufatti altamente sensibili alla luce: tessili, costumi, arazzi, tappeti, stampe, libri, carta, pergamena, etc.	50
4 Alta	Reperti e manufatti estremamente sensibili alla luce: mummie, sete, inchiostri, coloranti e pigmenti a maggior rischio di scoloritura come lacche, ecc.	50

2 Gli edifici oggetto di indagine

L'indagine, condotta nel territorio del Comune di Carbonia, ha riguardato due edifici risalenti alla prima metà del '900, attualmente adibiti ad ambienti espositivi/culturali, collocati nella periferia sud occidentale dell'abitato della città e facenti riferimento al museo dei Paleo Ambienti Sulcitani (PAS) e del Carbone, ampiamente descritti nel report precedente.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, si è condotta - nel periodo di riferimento agosto-dicembre 2018 - una campagna sperimentale riguardante lo studio dei parametri termo-igrometrici all'interno della sala espositiva principale del museo dei Paleo Ambienti Sulcitani al fine di verificare lo stato di conservazione dei beni esposti. Per quanto concerne il museo del Carbone, a causa delle difficoltà tecniche legate al posizionamento della sensoristica all'interno delle vetrine museali, non è stato possibile attuare il monitoraggio dei parametri microclimatici in modo diretto. Ciò nonostante l'indagine è stata condotta attraverso la raccolta e l'elaborazione dei dati - relativi alle annualità 2017-2018 - acquisiti direttamente dal personale tecnico della struttura di riferimento.



Figura 2.1. Museo PAS Prospetto Nord-ovest



Figura 2.2. Complesso del Museo del Carbone, prospetto sud-est

3 Metodologia adoperata per l'analisi delle condizioni di conservazione dei beni esposti – museo dei Paleo Ambienti Sulcitani

La campagna di monitoraggio sperimentale dei parametri termo-igrometrici, all'interno delle teche e delle vetrine museali della sala espositiva principale del museo dei Paleo Ambienti Sulcitani, ha interessato il periodo a cavallo tra agosto e dicembre 2018 con alcune interruzioni dovute a questioni tecniche. La scelta di effettuare i rilievi a partire dalla stagione estiva è stata fatta tenendo conto del fatto che, l'ubicazione del sito museale, nelle vicinanze del mare, comporta una grande affluenza di visitatori proprio in questo periodo da cui discende una situazione di maggiore criticità per la conservazione dei manufatti contenuti nel museo. I rilievi hanno riguardato la misurazione dei seguenti parametri:

- temperatura e umidità relativa dell'aria ambiente all'interno delle vetrine museali site al piano terra e al piano superiore della sala espositiva principale;
- temperatura e umidità relativa dell'aria ambiente nei due piani della sala museale;
- temperatura e umidità relativa dell'aria all'esterno dell'edificio.

Nell'ultimo mese di monitoraggio si è inoltre investigato sulla variazione di temperatura a diverse quote dal pavimento, rispettivamente per il piano terra e per il piano soppalcato al fine di valutare l'omogeneità della variabile considerata.

3.1 Strumentazione adoperata

Si tratta di misure in continuo effettuate mediante l'utilizzo di datalogger, modello TGU 4500 Tinytag Ultra 2 (dimensioni 72 x 60 x 33 mm; accuratezza 0,3°C per la temperatura e 3% per l'umidità relativa), e modello Trotec BL 30 (dimensioni 94 x 50 x 32 mm; accuratezza ± 1 °C per la temperatura e 3% per l'umidità relativa), programmati per registrare i valori di temperatura e umidità relativa dell'aria ad intervalli di 30 minuti. Le variabili termo-igrometriche esterne sono state altresì monitorate con un datalogger Tinytag Plus 2.



Figura 3.1. Sensori utilizzati per misure di temperatura e umidità indoor e outdoor.

La scelta della collocazione degli strumenti di misura negli ambienti interni è stata effettuata cercando di rispettare l'allestimento espositivo, evitando zone con fenomeni di stratificazione dell'aria o stagnazione e nel contempo sistemando gli strumenti in aree non facilmente accessibili al pubblico minimizzando il rischio di perturbanti accidentali.

3.2 La sala espositiva principale

L'ambiente espositivo principale presenta una superficie netta di circa 304,32 m² ed un volume netto di 2650 m³. L'involucro termico, caratterizzato da muratura portante originale in "trachite rossa" con intonaci a base di calce, originali restaurati, si distingue per le buone capacità inerziali, presentando una trasmittanza termica periodica bassa (YIE=0.105 W/m²K) ed uno sfasamento elevato (maggiore di 9 ore), a fronte di valori di isolamento termico molto scarsi (U=1,723 W/m²K). L'ambiente illuminato naturalmente, presenta al piano terra 4 finestre di piccole dimensioni (1,70x1,40 m) e due di grandi dimensioni (2,50x1,40 m). Il primo piano è esposto su tutti i lati e presenta in tutto 4 finestre di grandi dimensioni, 2 sul lato NO e 2 sul lato SE.



Figura 3.2 Ingresso sala mostre – museo dei PAS



Figura 3.3 Sala Mostre – Museo dei Paleo Ambienti Sulcitani

3.3 I reperti esposti

Il tema centrale dell'esposizione, allestita negli ambienti del piano terra del "Museo dei Palaeo Ambienti Sulcitani E.A. Martel", riguarda i bioeventi ed i geoeventi registrati nelle rocce del SO della Sardegna, con particolare attenzione verso i fossili in esse conservati. Nello specifico la sala centrale del museo – museo 1 - , al piano terra, ospita una sezione dedicata alle grandi estinzioni di massa e dinosauri con reperti fossili marini e continentali relativi al Mesozoico, tra i quali spicca il calco completo di un adulto di *Tyrannosaurus rex*. Nella sala del piano superiore è presente una esposizione di fossili che introduce il tema della biodiversità con reperti ordinati per famiglia, provenienti da varie località del pianeta. Nel piano alto centrale è invece allestita la sezione dedicata alle paleobiodiversità, nella quale sono esposti reperti, provenienti da differenti località mondiali pur con frequenti riferimenti alla Sardegna, con una panoramica generale sugli organismi del passato documentata seguendo i criteri delle differenti classi tassonomiche.

3.4 Monitoraggio e risultati sperimentali

In particolare sono state esaminate due vetrine, ambedue in plexiglass; la prima (fig. 3.4.) situata al piano terra avente volume di circa 0,25 m³, contenente rocce e fossili risalenti all'Ordoviciano, in cui è stato posizionato il sensore T1; l'altra (fig. 3.5.), sita al piano primo, presenta un volume pari a circa 0,5 m³, contenente fossili di graptoliti risalenti al periodo compreso tra 520 e 300 milioni di anni fa in cui è stato posizionato il sensore T3. Sono stati inoltre posti due ulteriori sensori, T2-T4, rispettivamente al piano terra e al piano primo al fine di rilevare l'andamento delle variabili termo-igrometriche all'esterno delle vetrine. Per tener conto delle relazioni, dell'incidenza e della variabilità tra le grandezze termo-igrometriche dell'ambiente esterno e del macro e micro ambiente espositivo, l'ubicazione dei sensori ha interessato anche l'esterno dell'edificio museale.



Figura 1.4. Teca – piano terra



Figura 3.5. Vetrina – piano primo

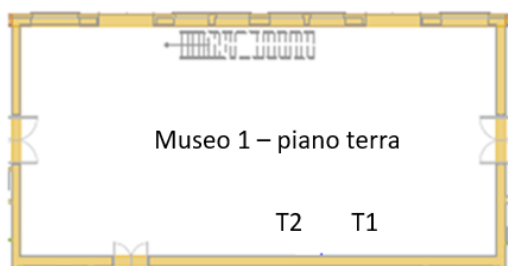


Figura 3.6. Museo 1 – piano terra

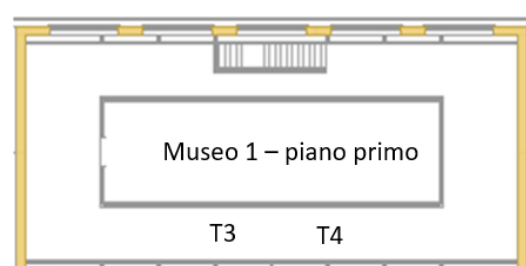


Figura 3.7. Museo 1 – piano primo

I valori di riferimento consigliati dalla UNI10829 per i parametri ambientali relativi alla conservazione della categoria di beni presenti nella Sala Museo 1 (Rocce, pietre, minerali, fossili) sono: da 15 a 25 °C per la temperatura e da 20 a 60 % per l'umidità relativa.

Nelle grafiche seguenti è riportato l'andamento della temperatura e dell'umidità relativa interna ed esterna.

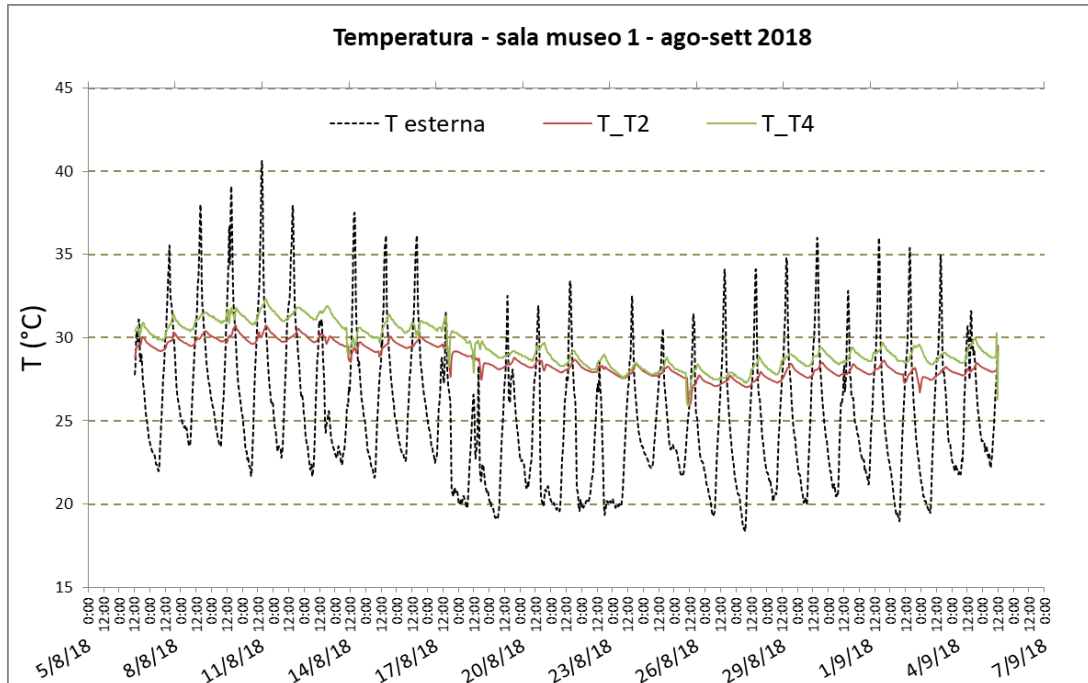


Figura 3.8. Andamento della temperatura esterna ed interna (T_T2 piano terra; T_T4 piano primo) – 8 ago – 5 set 2018.

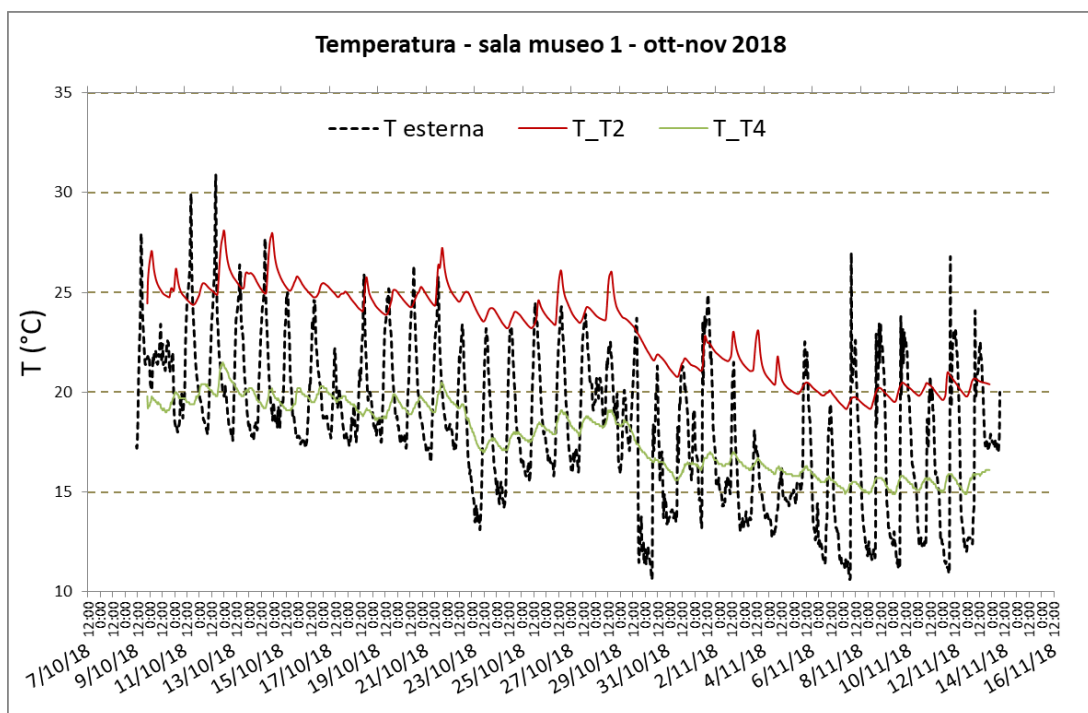


Figura 3.9. Andamento della temperatura esterna ed interna (T_T2 piano terra; T_T4 piano primo) – 9 ott – 8 nov 2018.

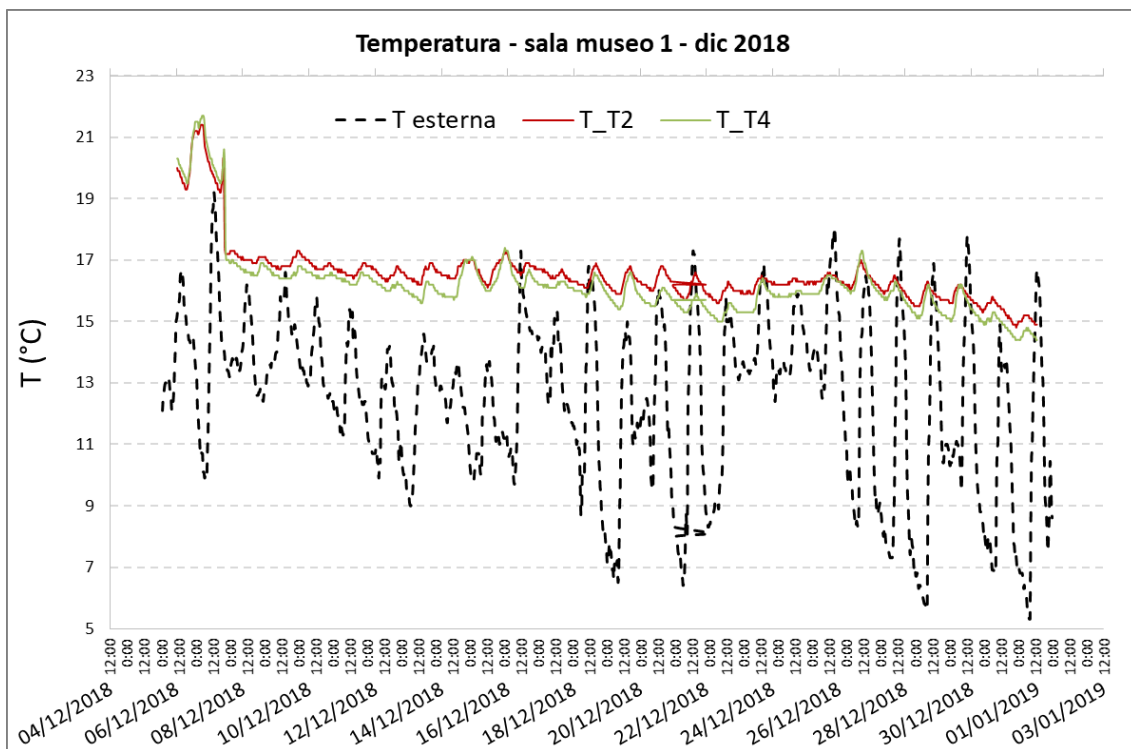


Figura 3.10. Andamento della temperatura esterna ed interna (T_T2 piano terra; T_T4 piano primo) – 6 dic – 31 dic 2018.

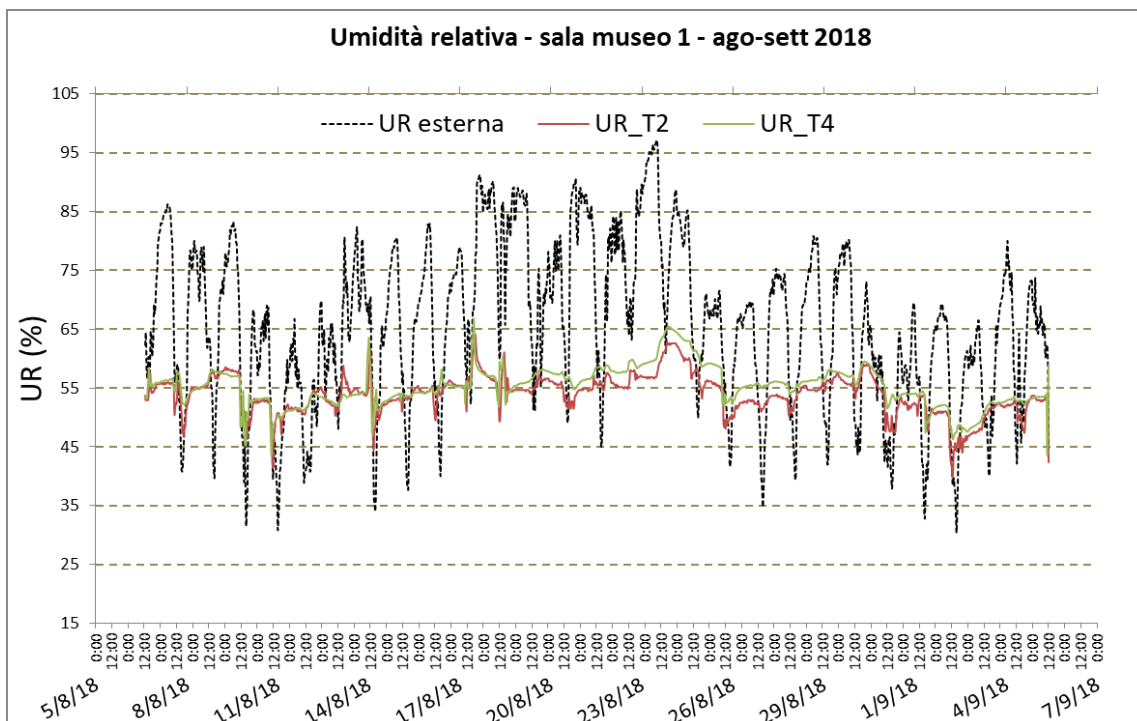


Figura 3.11. Andamento dell'umidità relativa esterna ed interna (UR_T2 piano terra; UR_T4 piano primo) - 8 ago – 5 set 2018.

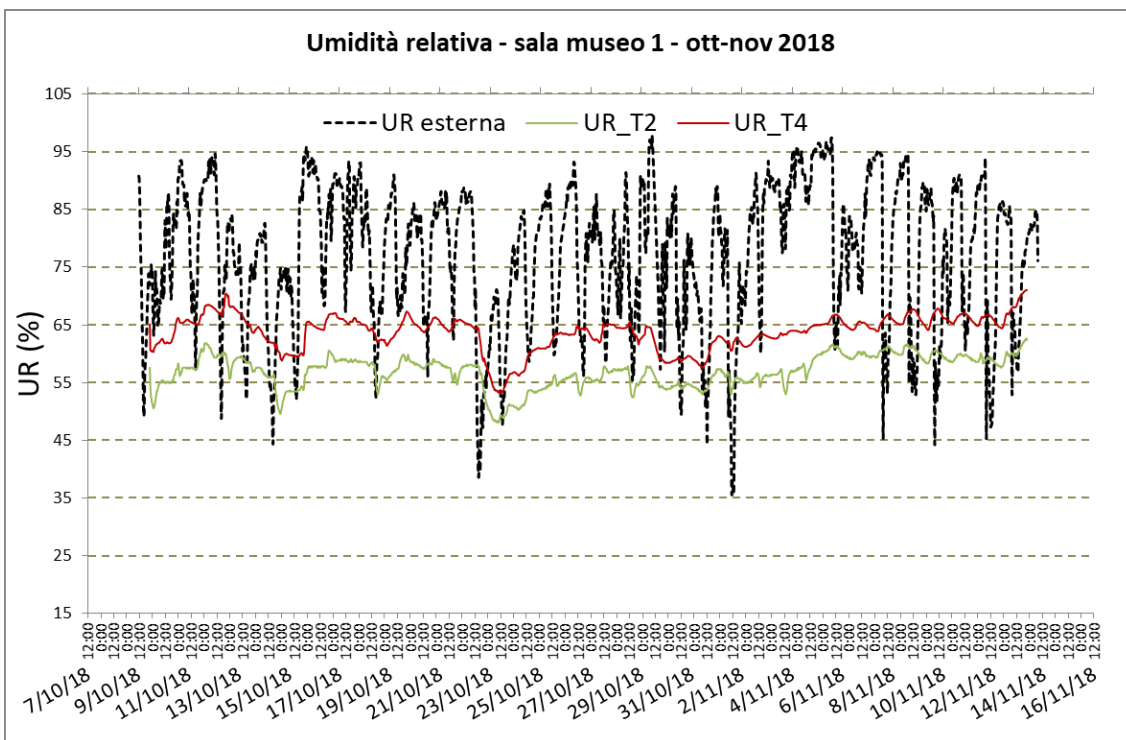


Figura 3.12. Figura 8 Andamento dell’umidità relativa esterna ed interna (UR_T2 piano terra; UR_T4 piano primo) – 9 ott – 8 nov 2018.

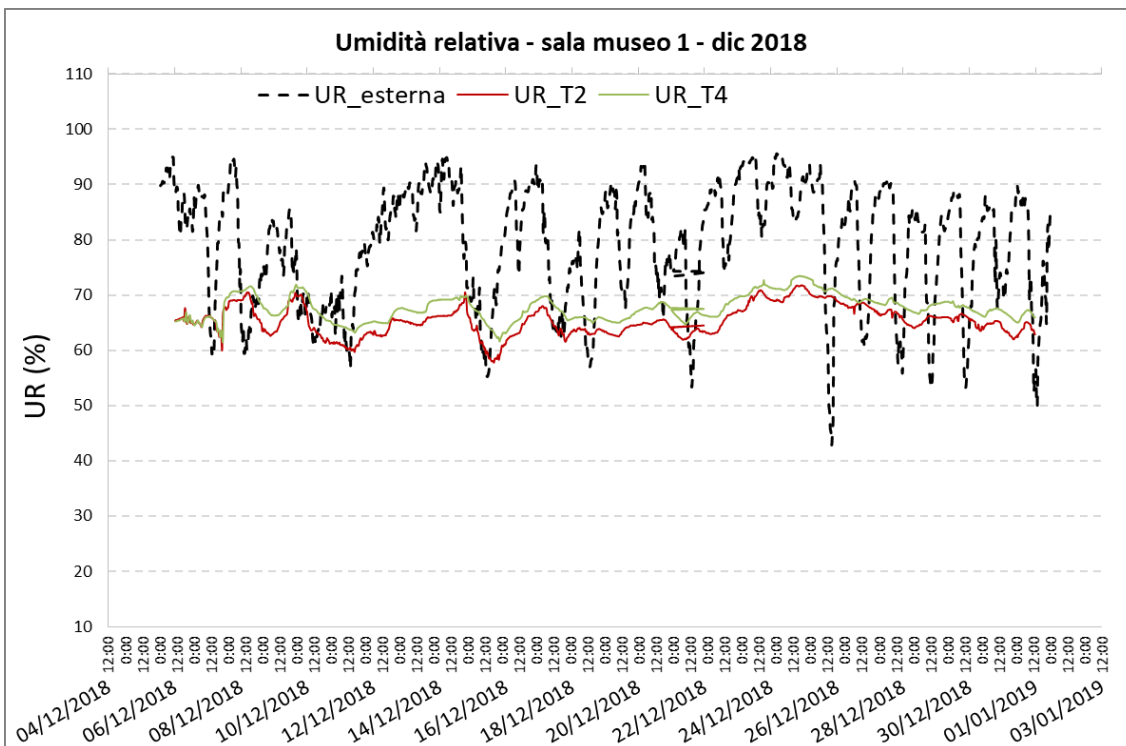


Figura 3.13. Andamento dell’umidità relativa esterna ed interna (UR_T2 piano terra; UR_T4 piano primo) – 6 dic – 31 dic 2018.

Dall'analisi dei dati registrati si nota come le condizioni termo-igrometriche dell'aria negli ambienti interni siano influenzate da quelle esterne: in particolare, gli andamenti delle variabili - temperatura (T) e umidità relativa (UR) - seguono, con un certo ritardo, quelli esterni all'edificio. Il motivo di questo andamento probabilmente è da ricercarsi nel fatto che, attraverso le pareti dell'involucro edilizio, sottoposte a sollecitazioni termiche variabili nel tempo, si generino flussi di calore le cui intensità sono funzione dello spessore e delle proprietà termiche delle pareti stesse. Ciò si evidenzia particolarmente dalla differenza di escursione termica tra il dì e la notte: in ambiente esterno si registrano notevoli variazioni di temperatura nell'arco delle 24 ore, mentre all'interno dell'edificio si rilevano gradienti di temperatura meno accentuati. In conclusione, la caratteristica più evidente risulta essere l'elevata inerzia termica dell'edificio, capace di isolare considerevolmente l'ambiente esterno da quello interno.

Nella stagione estiva, al piano primo si registra una temperatura superiore rispetto al piano terra, ciò è attribuibile a due fattori principali, il primo riferibile all'irraggiamento termico ed il secondo alla maggior presenza di superfici finestrate. Quando la temperatura esterna è elevata (38-40°C), nella prima settimana di monitoraggio la differenza di temperatura tra piano primo e piano terra è dell'ordine di 2 -3 °C; nei giorni successivi, con l'abbassamento della temperatura esterna, anche il delta tra piano primo e piano terra tende a ridursi notevolmente.

Al contrario, nella stagione autunnale con l'abbassarsi delle temperature esterne si registrano valori di quest'ultima più elevati al piano terra. Questo aspetto è giustificabile in parte dall'inerzia termica del pavimento che inizia a rilasciare calore accumulato durante la stagione estiva. Inoltre il medesimo ambiente, caratterizzato da una minor presenza di chiusure verticali risulta essere meno disperdente e presenta un lato interno comunicante con la *sala degli alberi bianchi* che si configura come una serra solare. Il ΔT tra piano terra e piano primo, dell'ordine di 5 °C, si mantiene costante per l'intero periodo considerato.

Nel mese di dicembre, col primo freddo, la differenza di temperatura tra piano primo e piano terra tende a ridursi notevolmente e quest'ultimo si configura sempre come il più caldo.

I grafici che seguono (dalla fig. 3.14 alla fig. 3.25) rappresentano quelli più importanti e riassuntivi del monitoraggio: riportano le coppie di dati (T – U.R.) acquisite dalle stazioni durante il periodo di monitoraggio, fornendo un'idea complessiva della situazione microclimatica. I dati sono confrontati con il "campo di benessere" prescritto dalla normativa vigente che indica i range entro cui il bene ha il minimo rischio di danneggiamento. In particolare, come già esposto, gli standard di conservazione per i fossili vedono una temperatura compresa tra 15 e 25 °C ed una umidità relativa di 20– 60% (UNI 10829 Luglio 1999). Nelle tabelle 3.1-3.6 sono riportati i valori massimi, minimi e medi giornalieri dei parametri termo-igrometrici (T-UR) calcolati nei mesi di monitoraggio.

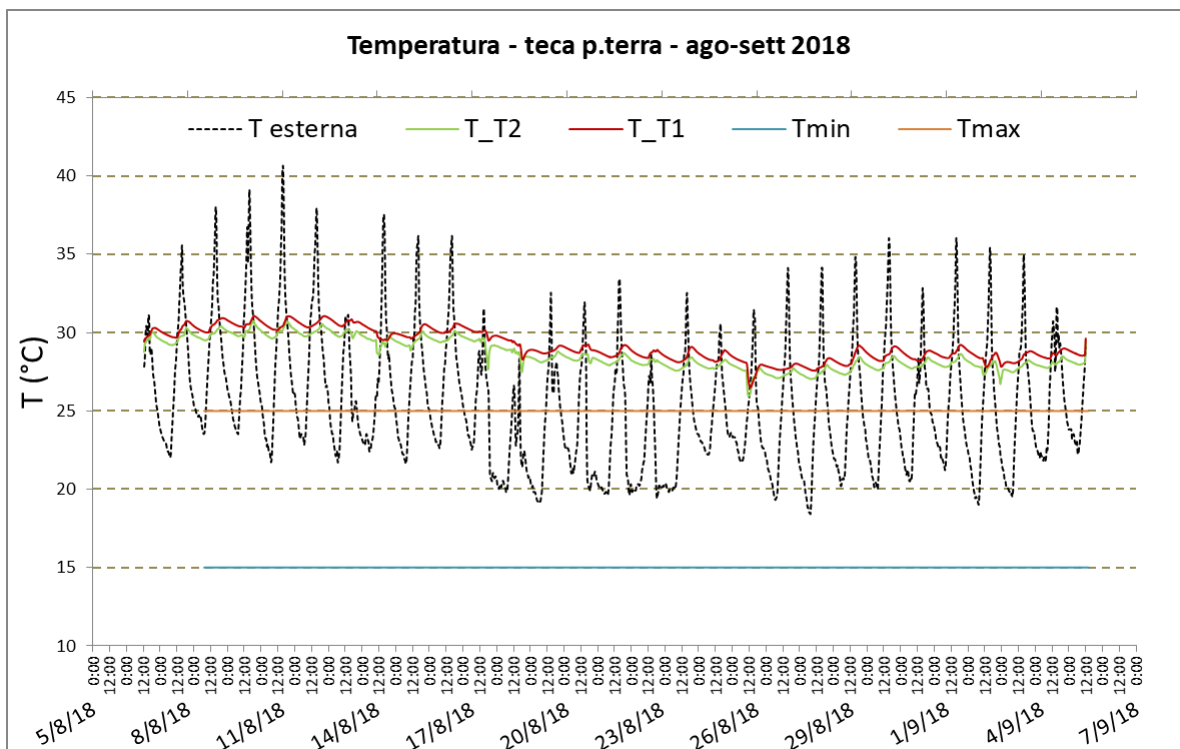


Figura 2.14. Andamento della temperatura al piano terra (T_T2) e all'interno della teca (T_T1) – 8 ago – 5 set 2018.

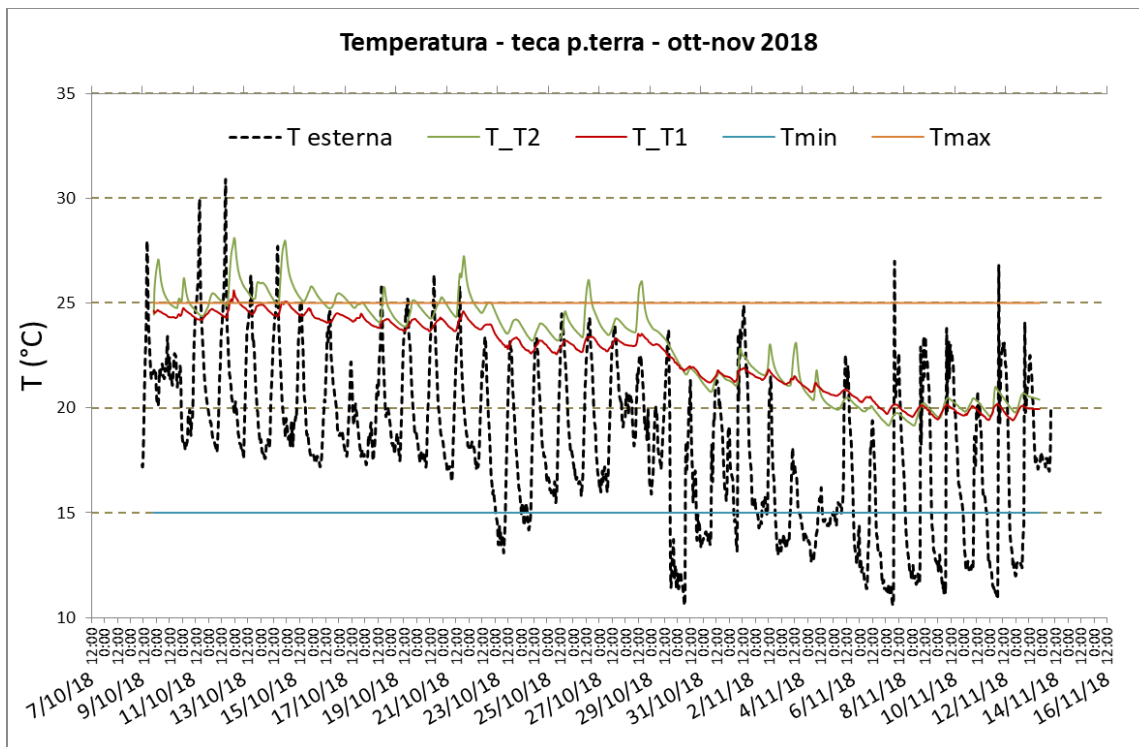


Figura 3.15. Andamento della temperatura al piano terra (T_T2) e all'interno della teca (T_T1) – 9 ott – 8 nov 2018.

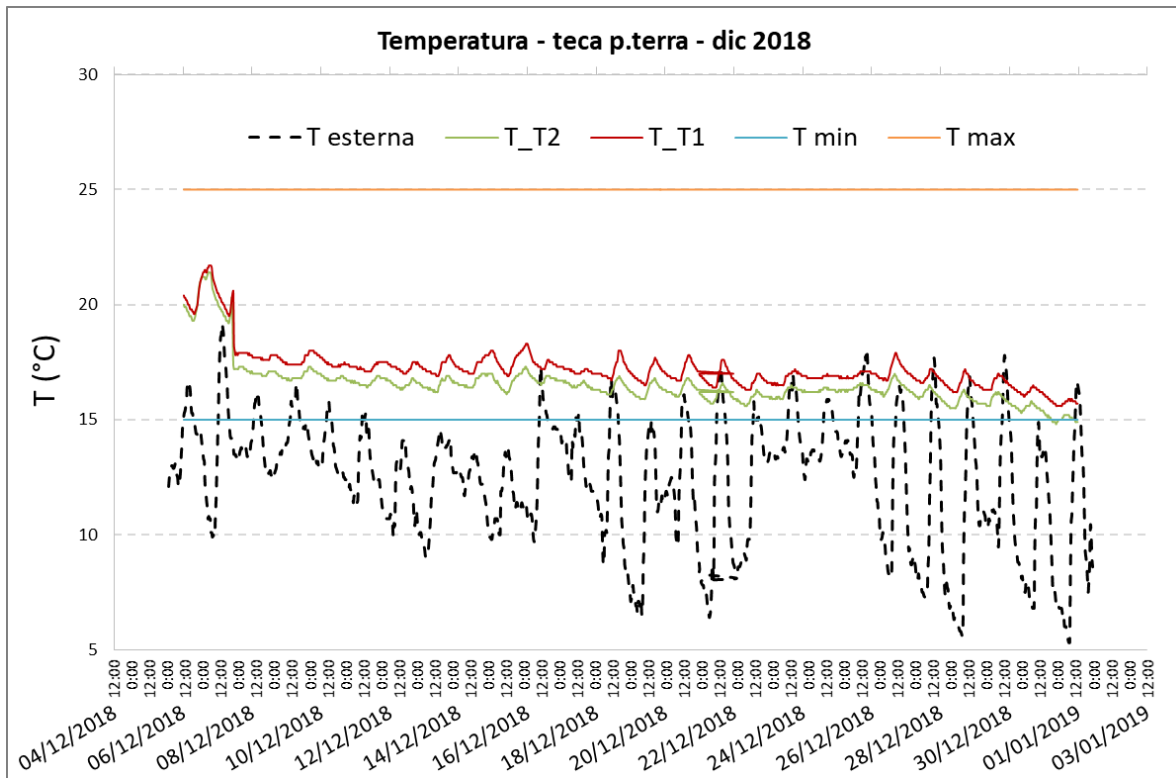


Figura 3.16. Andamento della temperatura al piano terra (T_T2) e all'interno della teca (T_T1) – 6 dic – 31 dic 2018.

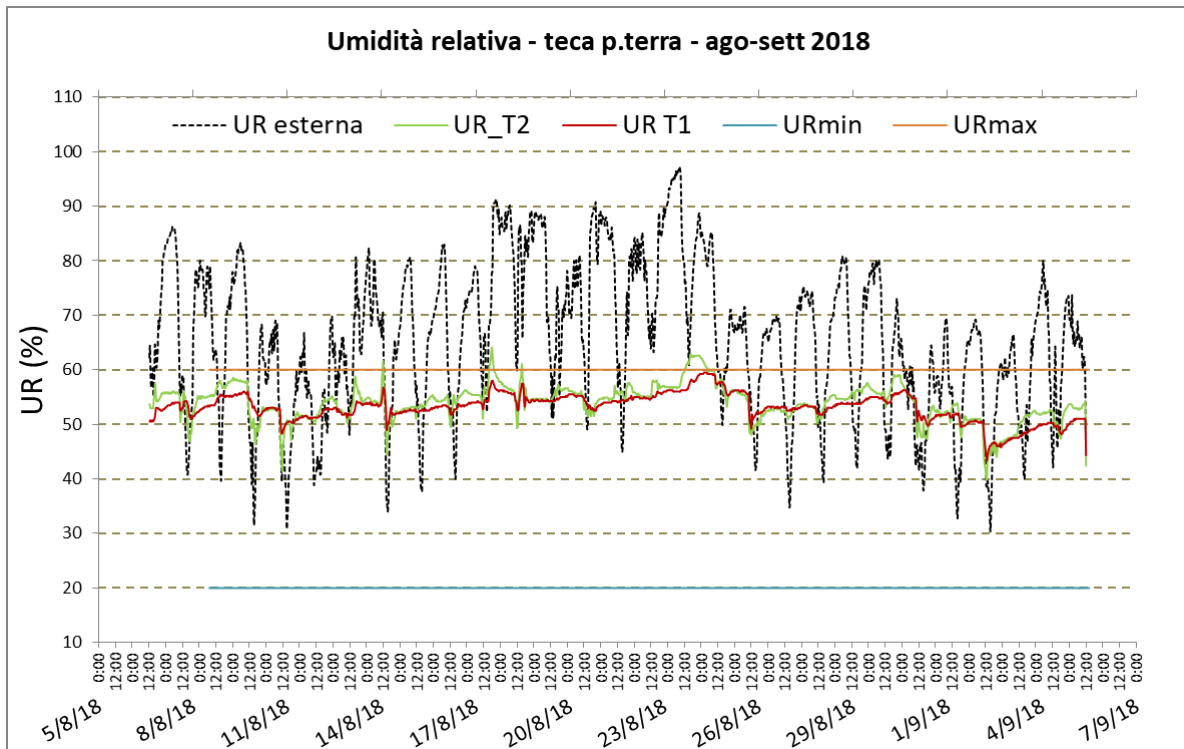


Figura 3.17. Andamento dell'umidità relativa al piano terra (UR_T2) e all'interno della teca (UR_T1) – 8 ago – 5 set 2018.

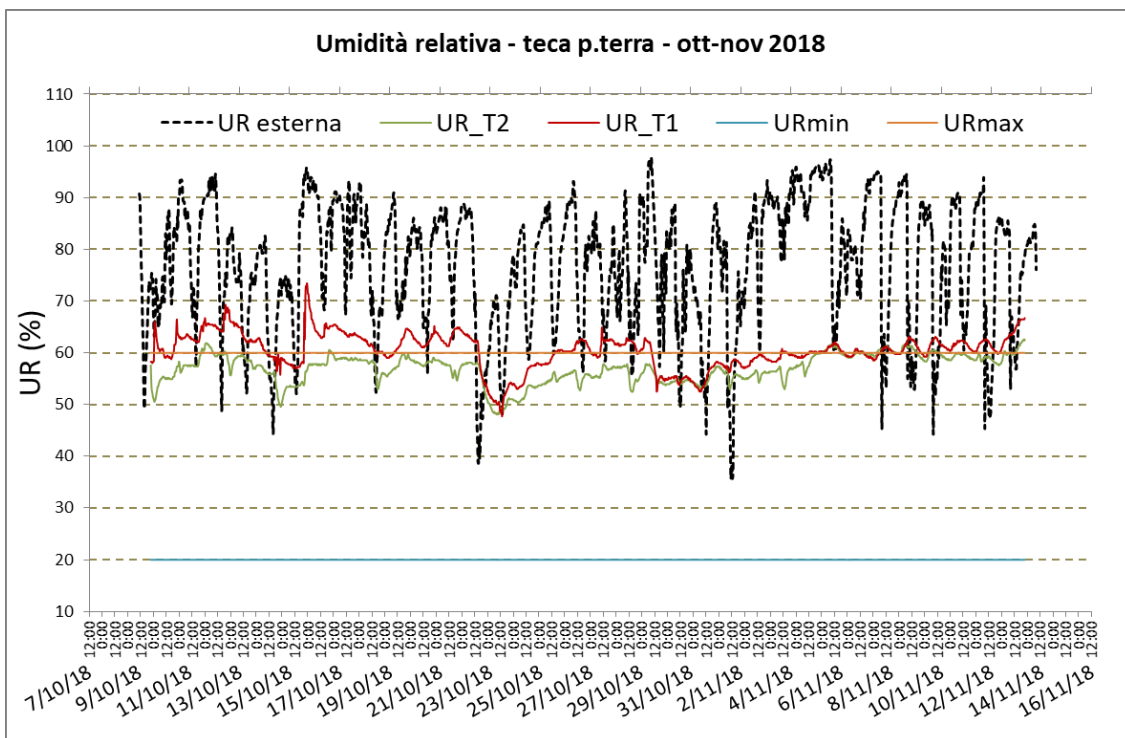


Figura 3.18. Andamento dell'umidità relativa al piano terra (UR_T2) e all'interno della teca (UR_T1) – 9 ott – 8 nov 2018.

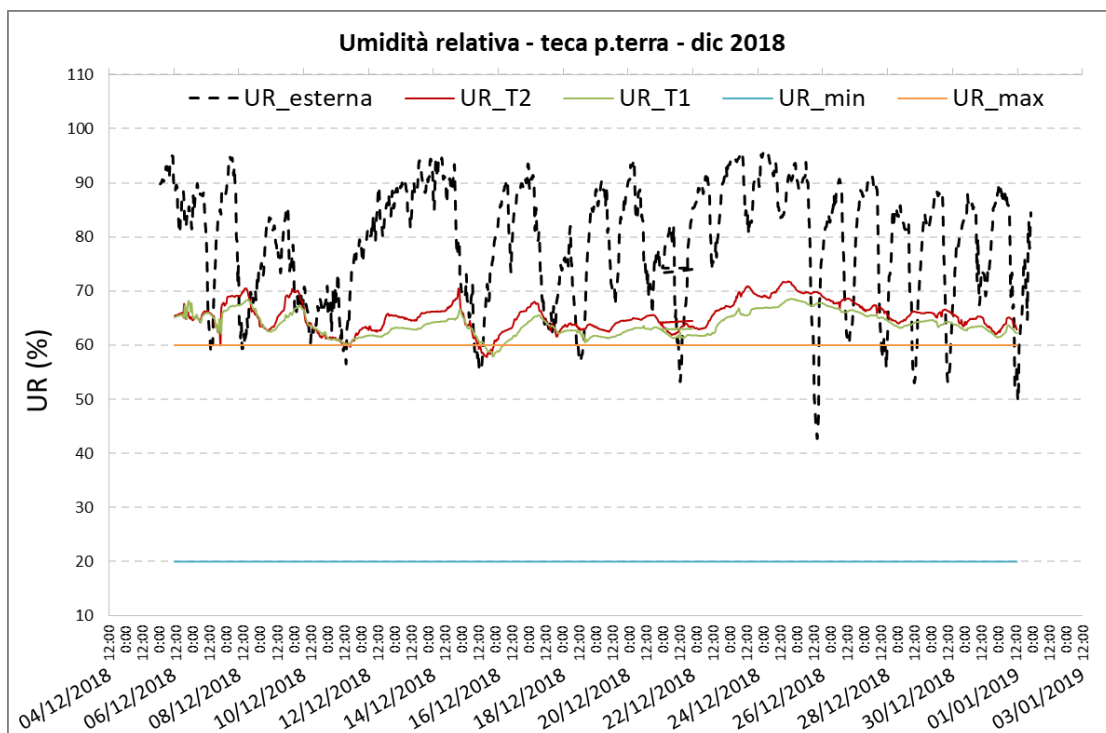


Figura 3.19. Andamento dell'umidità relativa al piano terra (UR_T2) e all'interno della teca (UR_T1) – 6 dic – 31 dic 2018.

Tabella 2.1. Valori dei parametri micro-climatici giornalieri – teca piano terra – 8 ago – 5 set 2018

Valori massimi, medi e minimi giornalieri - T1 - ago- sett 2018						
Data	T min (°C)	UR min (%)	T med (°C)	UR med (%)	T max (°C)	UR max (%)
8/8/18	29,43	50,51	30,00	52,01	30,30	53,01
9/8/18	29,67	51,01	30,12	53,06	30,74	54,26
10/8/18	30,01	52,51	30,44	54,14	30,93	55,51
11/8/18	30,32	51,51	30,64	54,15	31,07	56,01
12/8/18	30,14	48,27	30,54	51,36	31,04	53,01
13/8/18	30,33	51,01	30,65	51,78	31,06	53,01
14/8/18	30,39	51,26	30,66	52,73	30,95	54,26
15/8/18	29,51	49,01	29,95	53,05	30,54	56,76
16/8/18	29,61	52,01	29,98	52,50	30,54	53,01
17/8/18	29,97	51,76	30,23	53,10	30,58	53,76
18/8/18	29,49	52,76	30,02	54,92	30,40	58,01
19/8/18	28,28	52,51	29,27	55,23	29,80	57,51
20/8/18	28,67	54,26	28,87	54,52	29,17	55,26
21/8/18	28,71	52,51	28,94	54,31	29,23	55,51
22/8/18	28,43	53,51	28,74	54,25	29,21	55,26
23/8/18	28,38	54,51	28,64	55,21	28,90	56,26
24/8/18	28,11	56,01	28,47	56,95	29,09	59,26
25/8/18	28,14	55,26	28,46	57,82	28,89	59,51
26/8/18	26,49	49,26	27,78	53,71	28,48	56,26
27/8/18	27,62	52,51	27,77	52,99	28,03	53,26
28/8/18	27,56	51,76	29,40	53,94	28,37	53,51
29/8/18	27,87	53,26	28,38	53,89	29,18	54,76
30/8/18	28,19	53,76	28,60	54,94	29,12	56,01
31/8/18	28,20	49,76	28,53	52,95	28,87	56,26
1/9/18	28,37	49,51	28,72	51,24	29,21	52,01
2/9/18	27,79	43,38	28,39	48,01	28,85	50,76
3/9/18	27,83	46,28	28,32	47,84	28,81	49,26
4/9/18	28,35	48,27	28,64	49,63	28,99	50,26
5/9/18	28,53	44,35	28,69	50,58	29,62	51,01

Tabella 3.2. Valori dei parametri micro-climatici giornalieri – teca piano terra – 9 ott – 8 nov 2018.

Valori massimi, medi e minimi giornalieri - T1 - ott-nov 2018						
Data	T min (°C)	UR min (%)	T med (°C)	UR med (%)	T max (°C)	UR max (%)
09/10/18	24,40	58,01	24,55	60,84	24,67	65,95
10/10/18	24,29	58,76	24,45	61,58	24,76	66,46
11/10/18	24,20	58,76	24,44	64,11	24,72	66,72
12/10/18	24,30	64,14	24,83	65,81	25,60	69,30
13/10/18	24,47	60,54	23,23	62,53	24,94	64,92
14/10/18	24,36	55,76	24,72	58,81	25,08	60,54
15/10/18	24,25	57,01	24,72	62,17	24,76	73,44
16/10/18	24,06	62,86	24,28	64,47	24,51	65,69
17/10/18	24,01	62,34	24,24	63,46	24,50	64,66
18/10/18	23,81	59,01	24,02	60,48	24,24	62,60
19/10/18	23,66	59,26	23,94	62,16	24,24	64,66
20/10/18	23,66	61,05	23,97	62,46	24,31	65,18
21/10/18	23,66	61,31	24,08	63,24	24,61	64,92
22/10/18	23,37	51,76	23,83	59,09	24,02	63,63
23/10/18	22,81	47,77	23,14	51,63	23,36	54,26
24/10/18	22,59	53,01	22,91	55,79	23,22	58,01
25/10/18	22,56	57,51	22,90	59,14	23,21	60,54
26/10/18	22,66	60,02	23,07	61,33	23,40	62,60
27/10/18	22,70	59,01	23,00	61,24	23,32	64,92
28/10/18	22,94	59,76	23,18	61,57	23,54	62,86
29/10/18	22,16	52,51	22,73	58,26	23,12	62,86
30/10/18	21,52	53,76	21,88	54,98	22,17	55,51
31/10/18	21,22	53,76	21,46	54,78	21,79	58,01
01/11/18	21,25	52,51	21,60	57,84	21,91	58,76
02/11/18	21,33	57,01	21,53	58,42	21,83	59,76
03/11/18	21,10	58,26	21,27	59,12	21,52	60,79
04/11/18	20,72	59,01	20,92	59,60	21,20	60,28
05/11/18	20,58	60,02	20,70	60,82	20,88	62,08
06/11/18	20,09	59,26	20,39	59,92	20,57	60,79
07/11/18	19,71	58,51	19,97	59,83	20,16	61,31
08/11/18	19,57	59,76	19,86	61,07	20,12	63,11

Tabella 3.3. Valori dei parametri micro-climatici giornalieri – teca piano terra – 6 dic – 31 dic 2018.

Valori massimi, medi e minimi giornalieri - T1 - dic 2018						
Data	T min (°C)	UR min (%)	T med (°C)	UR med (%)	T max (°C)	UR max (%)
06/12/2018	19,60	64,20	20,67	65,68	21,70	68,20
07/12/2018	17,80	62,20	18,92	65,78	20,60	67,40
08/12/2018	17,40	62,50	17,67	65,86	17,80	68,40
09/12/2018	17,40	62,50	17,63	65,10	18,00	67,30
10/12/2018	17,30	61,00	17,40	62,71	17,70	66,50
11/12/2018	17,10	60,10	17,31	60,96	17,50	61,70
12/12/2018	17,00	61,50	17,26	62,26	17,50	63,30
13/12/2018	16,90	62,90	17,29	63,33	17,80	64,20
14/12/2018	17,00	64,20	17,39	64,80	18,00	66,60
15/12/2018	16,90	57,90	17,55	60,61	18,30	64,00
16/12/2018	17,20	58,80	17,47	61,79	18,30	64,50
17/12/2018	17,00	62,20	17,11	64,00	17,30	65,50
18/12/2018	16,70	60,50	17,20	62,05	18,00	62,80
19/12/2018	16,50	61,30	17,02	61,76	17,70	62,70
20/12/2018	16,70	62,70	17,11	63,10	17,80	63,60
21/12/2018	16,40	61,30	16,89	61,84	17,60	63,00
22/12/2018	16,30	61,70	16,61	62,57	17,00	64,90
23/12/2018	16,50	64,90	16,78	65,86	17,20	66,90
24/12/2018	16,80	66,80	16,86	67,28	17,00	68,50
25/12/2018	16,80	67,20	16,93	67,91	17,10	68,60
26/12/2018	16,70	66,10	17,15	66,73	17,90	67,70
27/12/2018	16,60	64,70	16,88	65,46	17,20	66,30
28/12/2018	16,20	63,20	16,60	63,81	17,20	64,60
29/12/2018	16,30	63,30	16,57	64,24	17,00	64,60
30/12/2018	16,00	62,70	16,26	63,36	16,50	64,00
31/12/2018	15,60	61,40	15,79	62,41	16,10	63,70

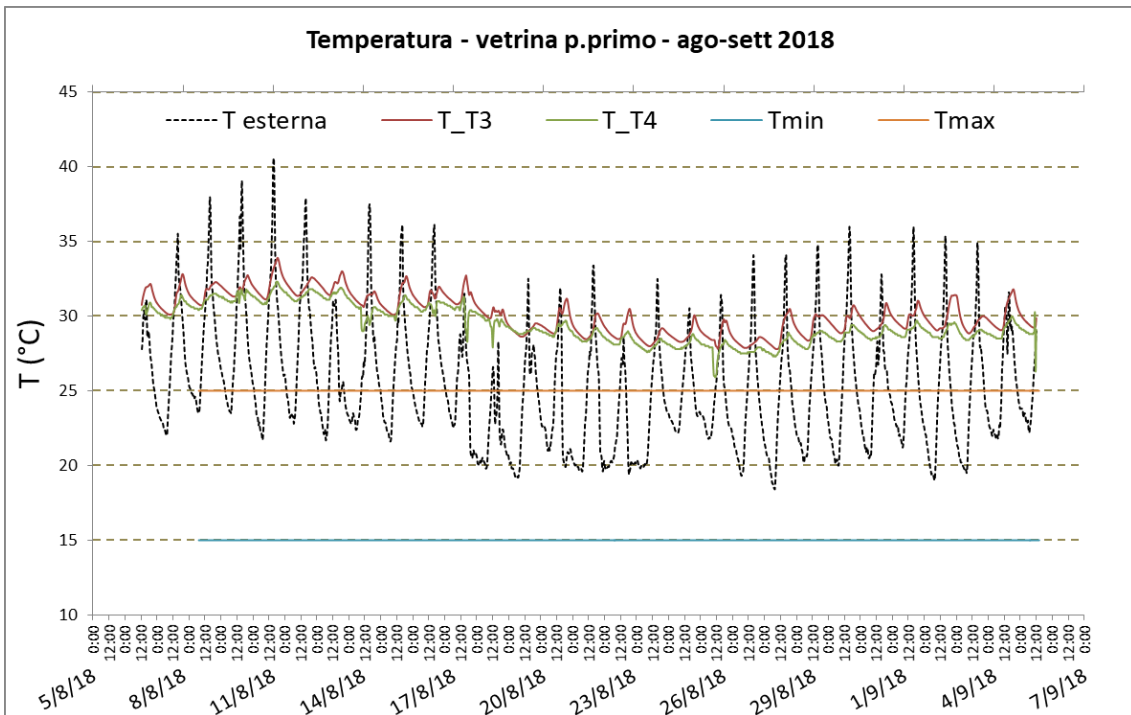


Figura 3.20. Andamento della temperatura al piano primo (T_T4) della sala museo 1 e all'interno della teca (T_T3) – 8 ago – 5 set 2018.

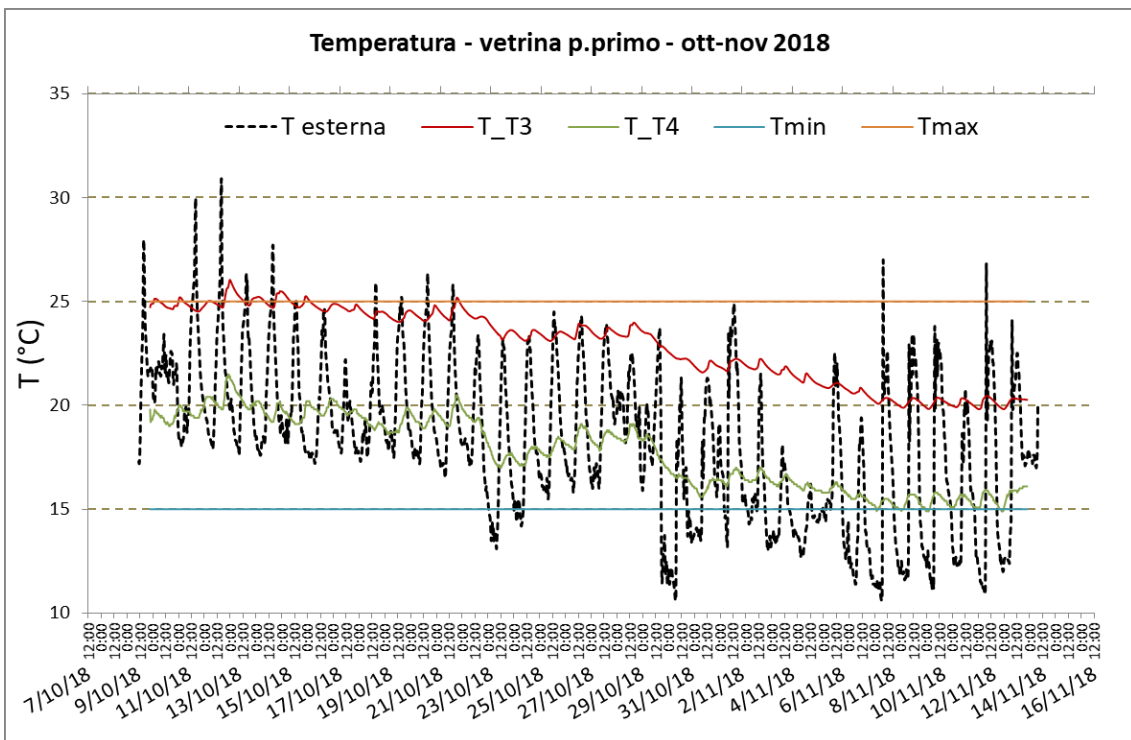


Figura 3.21. Andamento della temperatura al piano primo (T_T4) della sala museo 1 e all'interno della teca (T_T3) – 9 ott – 11 nov 2018.

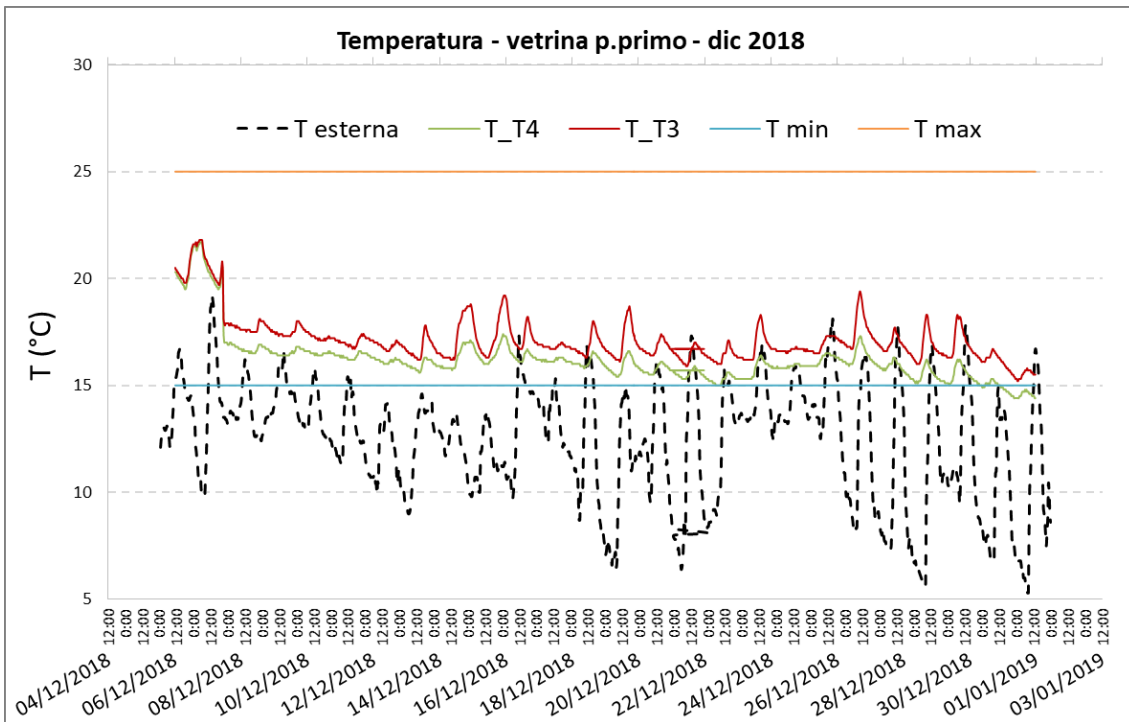


Figura 3.22. Andamento della temperatura al piano primo (T_{T4}) della sala museo 1 e all'interno della teca (T_{T3}) – 6 dic – 31 dic 2018.

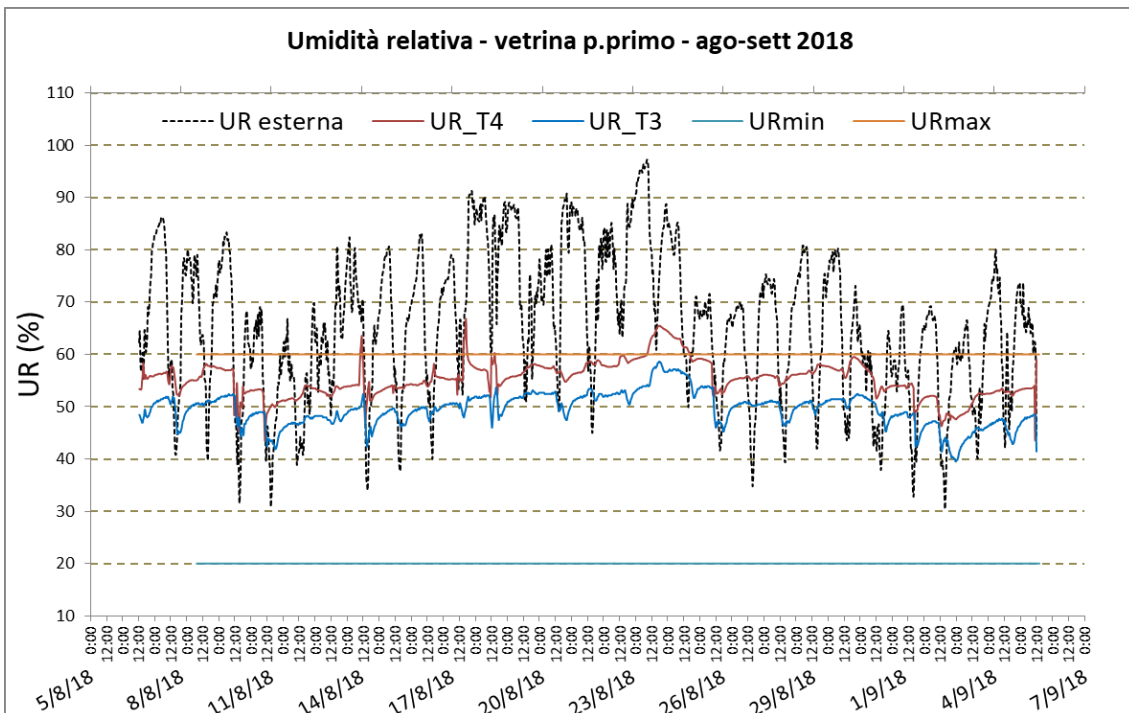


Figura 3.23. Andamento dell'umidità relativa al piano primo (UR_{T4}) della sala museo 1 e all'interno della teca (UR_{T3}) – 8 ago – 5 set 2018.

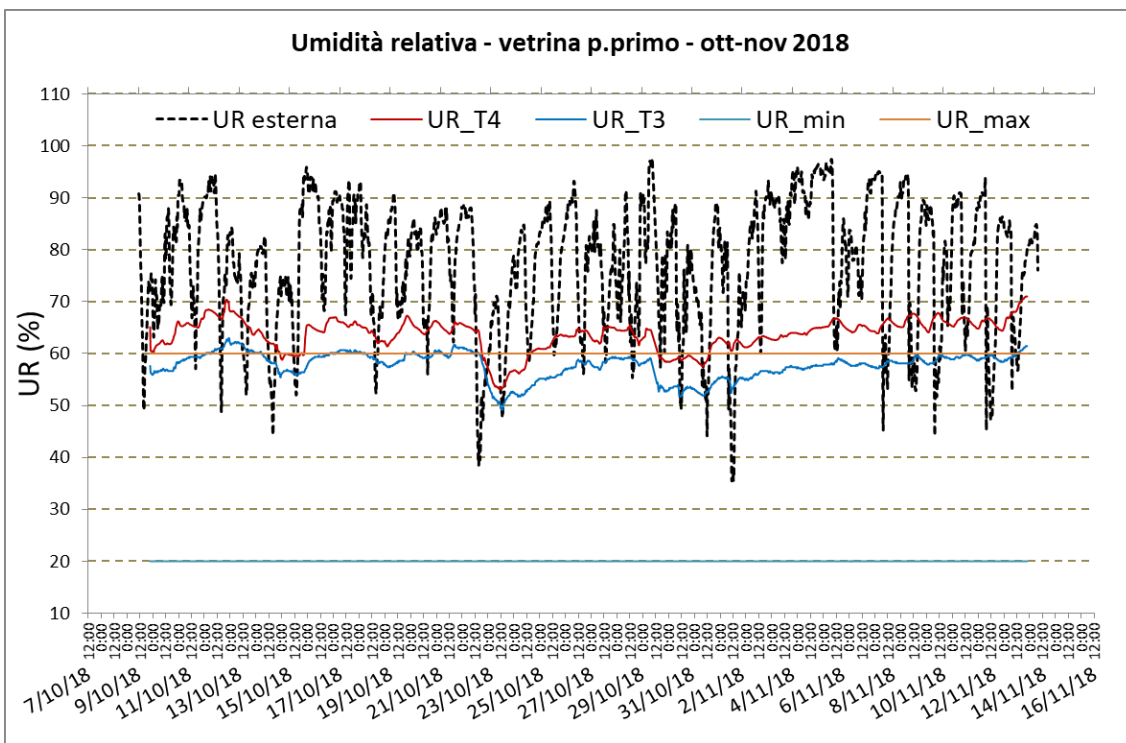


Figura 3.24. Andamento dell’umidità relativa al piano primo (UR_T4) della sala museo 1 e all’interno della teca (UR_T3) – 9 ott – 8 nov 2018.

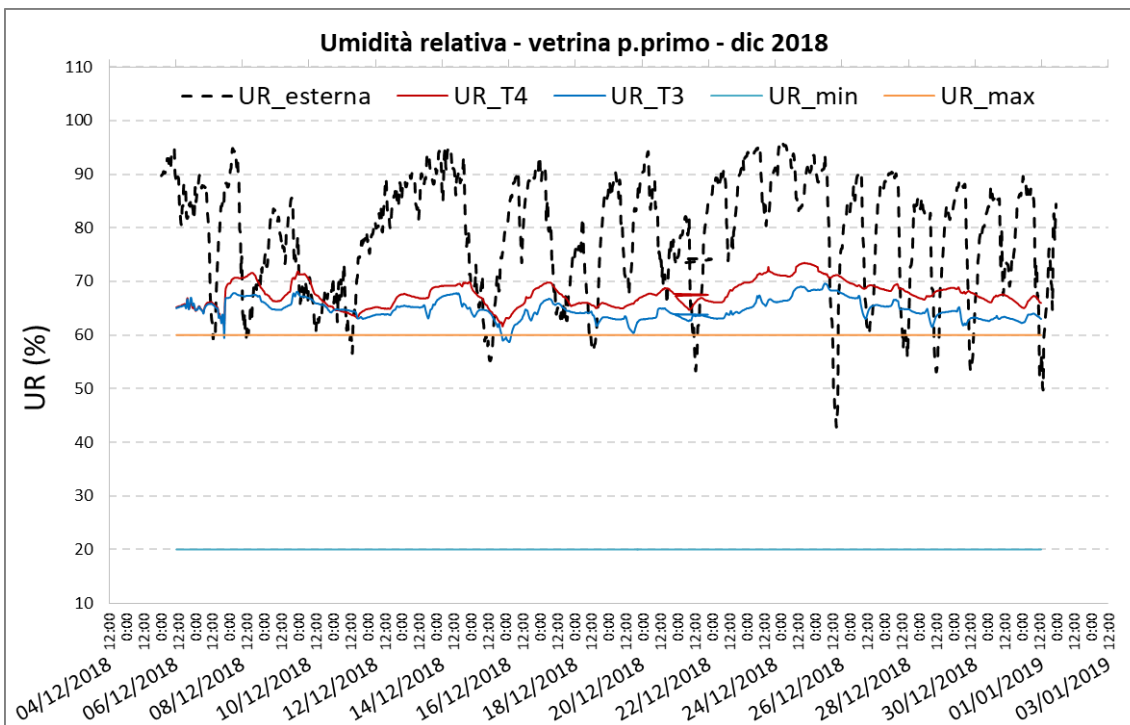


Figura 3.25. Andamento dell’umidità relativa al piano primo (UR_T4) della sala museo 1 e all’interno della teca (UR_T3) – 6 dic – 31 dic 2018.

Tabella 3.4. Valori dei parametri micro-climatici giornalieri – vetrina piano primo – 8 ago – 5 set 2018

Valori massimi, medi e minimi giornalieri - T3 - ago-sett 2018

Data	T min (°C)	UR min (%)	T med (°C)	UR med (%)	T max (°C)	UR max (%)
8/8/18	30,75	46,96	31,61	48,67	32,16	50,69
9/8/18	30,10	44,79	31,06	49,68	32,81	51,93
10/8/18	30,72	49,20	31,52	50,58	32,29	51,68
11/8/18	31,31	44,31	31,85	49,59	32,74	52,43
12/8/18	31,12	41,91	32,25	46,01	33,90	48,95
13/8/18	31,41	47,46	31,95	47,09	32,61	48,21
14/8/18	31,40	47,46	32,09	47,87	33,01	49,20
15/8/18	30,61	42,39	31,20	48,01	31,71	52,43
16/8/18	30,10	46,23	31,08	48,19	32,68	49,70
17/8/18	30,60	47,21	31,24	49,30	31,97	50,19
18/8/18	30,74	47,96	31,32	50,47	32,72	51,93
19/8/18	29,43	45,99	30,18	50,74	30,69	53,67
20/8/18	28,62	50,94	29,05	52,06	29,52	53,17
21/8/18	28,83	47,46	29,71	51,05	31,17	52,92
22/8/18	28,45	50,44	29,13	52,01	30,19	53,42
23/8/18	28,46	50,44	29,15	52,22	30,49	53,17
24/8/18	27,99	52,92	28,52	55,67	29,19	58,64
25/8/18	28,27	51,68	28,80	55,58	30,06	57,15
26/8/18	27,81	45,27	28,78	50,13	29,79	53,92
27/8/18	27,87	49,70	28,22	50,45	28,61	50,94
28/8/18	27,79	46,47	28,90	49,39	30,49	51,19
29/8/18	28,36	48,45	29,30	50,39	30,13	51,19
30/8/18	28,85	49,70	29,65	51,35	30,72	52,43
31/8/18	29,00	45,27	29,64	49,64	30,88	52,18
1/9/18	29,15	42,39	29,91	47,31	31,03	48,95
2/9/18	29,04	39,51	29,86	44,37	31,41	47,21
3/9/18	28,84	39,75	29,64	44,21	31,40	46,23
4/9/18	29,06	42,87	30,15	46,02	31,79	47,71
5/9/18	29,24	41,43	29,58	47,61	30,14	48,45

Tabella 3.5. Valori dei parametri micro-climatici giornalieri – vetrina piano primo – 9 ott – 8 nov 2018

Valori massimi, medi e minimi giornalieri - T3 - ott-nov 2018						
Data	T min (°C)	UR min (%)	T med (°C)	UR med (%)	T max (°C)	UR max (%)
09/10/18	24,72	55,90	24,97	56,53	25,14	57,64
10/10/18	24,64	56,65	24,84	57,75	25,20	59,13
11/10/18	24,51	59,13	24,76	59,68	25,03	60,42
12/10/18	24,70	60,42	25,27	61,66	26,04	62,98
13/10/18	24,81	59,39	25,07	60,62	25,24	61,96
14/10/18	24,69	55,41	25,10	57,51	25,49	59,39
15/10/18	24,71	55,90	24,92	57,06	25,26	59,13
16/10/18	24,51	59,39	24,71	59,76	24,88	60,42
17/10/18	24,45	59,90	24,65	60,40	24,85	60,67
18/10/18	24,15	57,40	24,38	58,64	24,54	60,16
19/10/18	24,01	57,40	24,26	58,97	24,57	60,42
20/10/18	24,05	59,13	24,34	59,73	24,82	60,67
21/10/18	24,09	59,13	24,57	60,53	25,19	61,70
22/10/18	23,89	52,92	24,23	58,65	24,54	60,93
23/10/18	23,17	49,20	23,50	51,34	23,85	52,68
24/10/18	23,11	51,68	23,37	53,22	23,63	55,16
25/10/18	23,09	54,91	23,33	55,67	23,55	57,15
26/10/18	23,17	56,90	23,58	57,91	23,93	58,89
27/10/18	23,20	56,90	23,45	58,21	23,75	59,39
28/10/18	23,30	57,64	23,58	58,84	23,98	59,39
29/10/18	22,68	52,68	23,17	55,96	23,59	59,13
30/10/18	22,05	51,68	22,30	53,14	22,65	53,92
31/10/18	21,58	51,93	21,85	53,03	22,15	54,91
01/11/18	21,65	52,43	21,97	54,81	22,24	55,66
02/11/18	21,73	54,91	21,93	55,82	22,23	56,65
03/11/18	21,48	56,15	21,66	56,72	21,88	57,64
04/11/18	21,04	56,90	21,28	57,33	21,54	57,89
05/11/18	20,83	57,64	20,95	58,13	21,08	59,13
06/11/18	20,49	57,64	20,69	57,99	20,91	58,64
07/11/18	20,07	57,15	20,26	57,77	20,46	58,64
08/11/18	19,88	58,14	20,12	58,44	20,35	59,65

Tabella 3.6. Valori dei parametri micro-climatici giornalieri – vetrina piano primo - 6 dic – 31 dic 2018

Valori massimi, medi e minimi giornalieri - T3 - dic 2018

Data	T min (°C)	UR min (%)	T med (°C)	UR med (%)	T max (°C)	UR max (%)
06/12/2018	19,80	64,00	20,84	65,31	21,80	67,00
07/12/2018	17,60	59,50	18,95	65,89	20,80	67,80
08/12/2018	17,50	64,80	17,68	66,51	18,10	67,50
09/12/2018	17,30	64,70	17,52	66,23	18,00	68,10
10/12/2018	17,00	64,20	17,21	65,37	17,50	66,90
11/12/2018	16,70	63,00	17,04	63,86	17,40	64,80
12/12/2018	16,60	63,70	16,85	64,51	17,10	65,50
13/12/2018	16,20	63,10	16,73	65,32	17,80	67,10
14/12/2018	16,20	63,40	17,29	66,37	18,80	67,80
15/12/2018	16,30	58,90	17,33	62,67	19,20	64,70
16/12/2018	16,70	58,70	17,39	62,99	19,10	65,90
17/12/2018	16,70	64,20	16,82	65,51	17,00	66,80
18/12/2018	16,30	61,70	16,90	63,56	18,00	64,40
19/12/2018	16,10	60,40	17,04	62,44	18,70	63,50
20/12/2018	16,40	62,90	16,77	63,87	17,40	65,00
21/12/2018	15,90	62,60	16,47	63,36	17,00	63,80
22/12/2018	16,00	63,00	16,38	63,62	17,10	64,50
23/12/2018	16,20	64,50	16,83	65,83	18,30	67,40
24/12/2018	16,50	66,10	16,66	67,51	16,80	69,10
25/12/2018	16,50	67,80	16,88	68,51	17,30	69,60
26/12/2018	16,70	63,00	17,59	66,03	19,40	67,80
27/12/2018	16,60	64,80	17,03	65,47	17,70	66,60
28/12/2018	16,00	61,50	16,80	63,81	18,30	64,90
29/12/2018	16,30	61,80	16,96	63,68	18,30	65,20
30/12/2018	16,10	62,60	16,37	63,05	16,80	63,60
31/12/2018	15,20	62,20	15,59	63,13	16,10	64,00

3.5 Esito del monitoraggio

Nei grafici sopra riportati, i dati ottenuti sono stati confrontati con il “campo di benessere” prescritto dalla normativa vigente, indicante i range entro cui il bene ha il minimo rischio di danneggiamento (T min, Tmax, URmin, URmax). Nel periodo di monitoraggio agosto-settembre si osservano al piano terra, con riferimento alla variabile temperatura, condizioni microclimatiche fuori dal “campo di benessere”. Il medesimo parametro all’interno della teca risulta di poco superiore rispetto a quella dell’ambiente in cui è collocata. Nel bimestre ottobre-novembre la variabile ricade sempre all’interno dell’intervallo consigliato. Quest’aspetto risulta ancor più evidente nel mese di dicembre.

Le stesse considerazioni sono riferibili ai beni collocati al primo piano all’interno della vetrina museale.

L’escursione termica giornaliera all’interno della sala e delle vetrine analizzate per l’interno trimestre è quasi assente. Nel mese di agosto e dicembre le misure evidenziano gradienti di circa 2-3 °C, registrando un aumento più significativo, dell’ordine di circa 5°C nei mesi di ottobre-novembre.

Per quanto riguarda l’umidità relativa, la tenuta delle due vetrine, pur non avendo nessun controllo su tale parametro, fa sì che le fluttuazioni orarie e i valori registrati di quest’ultimo siano mediamente contenuti in quelli prescritti. In particolare nel mese di agosto-settembre, contrariamente a quanto esposto per la temperatura, si raggiungono, all’interno delle vetrine analizzate, le condizioni ottimali di conservazione per la categoria di beni esposti, risultando al di sopra dei limiti proposti dalla UNI10829 di soli 10 punti percentuali nei mesi successivi.

In ultima analisi, data l’altezza della sala (circa 9 m) e la differenza espositiva tra piano terra e parte soppalcata, si è valutata la ripartizione verticale della temperatura a diverse altezze dal pavimento. L’indagine, condotta nel mese di dicembre è stata eseguita al fine di stimare l’uniformità della variabile nello spazio considerato. In tal senso sono stati posizionati all’interno della sala 7 sensori, di cui: tre al piano terra, uno intermedio tra piano terra e primo piano ed i rimanenti al piano primo.

I rilievi sono stati condotti disponendo la strumentazione a diverse quote dal pavimento, rispettivamente per il piano terra e per il piano soppalcato, come meglio specificato alla tabella seguente.

Tabella 3.7. Disposizione dei sensori a diverse quote dal pavimento – piano terra e piano primo della sala espositiva.

Piano terra		Piano primo	
Altezza rilievo [cm]	Corrispondenza	Altezza rilievo [cm]	Corrispondenza
0	pavimento	0	pavimento
10	caviglie	10	caviglie
170	testa	170	testa
350	h intermedia tra i due piani		

Si specifica che le quote considerate fanno riferimento a quelle tipiche di un soggetto medio.

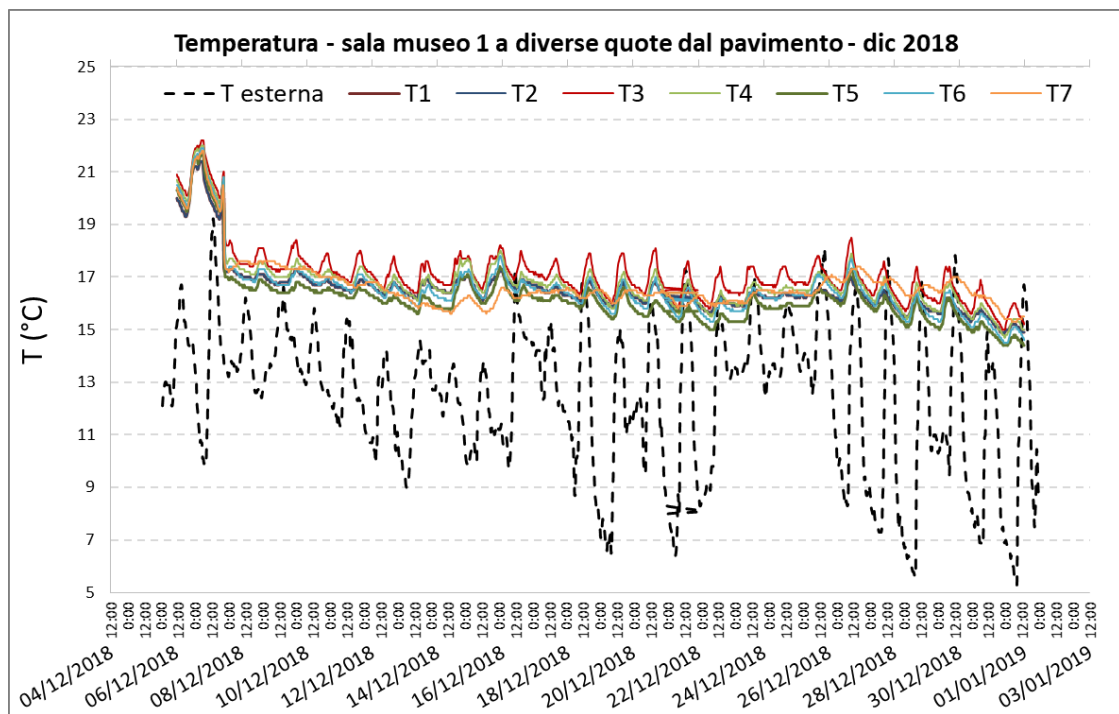


Figura 3.26. Ripartizione verticale delle temperature a diverse quote dal pavimento- dic. 2018

Dai risultati ottenuti è emerso che la temperatura interna dell'ambiente specificato non presenta caratteristiche di disomogeneità, con un ΔT inferiore ad 1°C tra i due piani. È lecito aspettarsi risposte differenti per la medesima analisi nella stagione calda e autunnale.

4 Il Museo del Carbone

4.1 La sala espositiva principale

Gran parte dell'edificio ospitante il Museo del Carbone è adibito a spazio espositivo articolato in diversi ambienti comunicanti tra loro. L'area comprende la sala espositiva principale (lampisteria), diverse sale museali secondarie, servizi igienici per i visitatori e la zona di consegna dei materiali per la visita guidata al sottosuolo.

La sala espositiva principale - provvista unicamente di un sistema di ventilazione - accoglie una preziosa collezione di lampade da miniera, attrezzi da lavoro (lampade, scarpe, elmetti, etc.), strumenti, oggetti di uso quotidiano, fotografie d'epoca e documenti cartacei. Alcuni reperti sono posti all'interno di teche in plexiglas di grandi dimensioni dotate di fori per l'aerazione, altri si trovano all'interno di vetrine e altri ancora sono direttamente esposti nella sala. Quest'ultima presenta una superficie utile di circa 1473,2 m² e orientamento SO-NE. Le coperture del locale sono realizzate con vetrate dotate di infissi a telaio metallico e vetro singolo sostenute da un graticcio di conglomerato cementizio. Le superfici finestrate presentano segni di degrado del telaio per effetto della corrosione causata dal ristagno dell'umidità, determinando conseguenti infiltrazioni d'acqua meteorica. La vetrata in testata è anch'essa costituita da un graticcio di conglomerato cementizio su cui sono stati apposti infissi quadrati a telaio fisso e solo alcuni apribili.



Figura 4.1. Museo 1 (lampisteria)

4.2 Metodologia

Come già accennato, i rilievi sono stati direttamente condotti dal personale del museo e la campagna di monitoraggio è iniziata il 20 gennaio 2017 ed è tutt'ora in corso.

Essa si basa principalmente sulla misurazione dei seguenti parametri:

- temperatura dell'aria ambiente;
- umidità relativa;
- illuminamento.

Si tratta di misure puntuali ed istantanee effettuate mediante un set di strumenti portatili caratterizzati da semplicità d'uso, trasportabilità e facilità di manutenzione. I punti di misura, in totale 11, sono indicati nella planimetria in fig. 4.1.

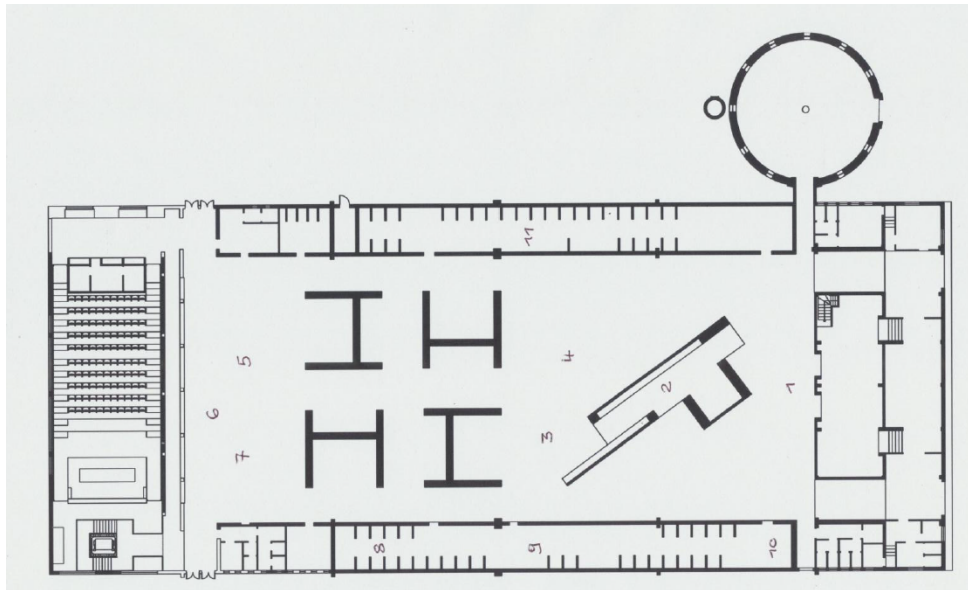


Figura 4.2. Planimetria Museo del Carbone

Nella seguente tabella sono specificati per ciascun punto di rilievo, i tipi di manufatti presenti e i materiali che li costituiscono. I rilievi sono stati effettuati sia nella stagione estiva che in quella invernale con cadenza mensile corrispondente al decimo e al ventesimo giorno. In particolare i dati sono riportati nelle tabelle 4.4-4.5-4.6.

Tabella 4.1. Caratteristiche specifiche dei punti di misurazione

Punti di misura	Orientamento	Beni	Materiali costituenti la collezione
1	Lampisteria Sud	-8 Biciclette freni a bacchetta anni '50 -1 Bicicletta da competizione cambio a carterello 1947 -2 Cerchi in legno per bicicletta anni '30 -1 Moto Ducati 98 anni '50	metalli
2	Corridoio espositivo (Lampisteria Sud) Vetrine	Valigia cartone con foto b/n femminile e abiti civili, buste paga	fotografie in bianco e nero, documenti su carta
3	Teca - Lampisteria Sud	Lampade a olio-carburo	metalli
4	Teca - Lampisteria Sud	Lampade elettriche	metalli
5	Teca-Lampisteria Nord	Lampade da casco	metalli
6	Teca-Lampisteria Nord	Lampade a carburo (in ottone e ferro).	metalli
7	Teca-Lampisteria Nord	Lampade di sicurezza elettrica- Accumulatori (al piombo)	metalli
8	Lampisteria (Docce Ovest)	1 foto bianco e nero, 3 lettere manoscritte 1 lettera dattiloscritta	documenti su carta, foto
9	Lampisteria (Docce Ovest)	strumento da rilievo topografico, svariati manuali (Manuale ACAI - L'armatore, Manuale ACAI - il Vagonaio, Manuale ACAI - Il sorvegliante di miniera, etc)	documenti su carta
10	Lampisteria (Docce Ovest)	Pannello a parete con 672 Placchette identificative Adrema Pannello a parete con 356 schede Carta d'Identità	metallo, documenti su carta
11	Lampisteria (Docce Est)	saponette d'epoca (utilizzate dai minatori), soffioni docce	organico e metallo



Figura 4.3. Punto di misura 1



Figura 4.4. Punto di misura 2



Figura 4.5. Punto di misura 3



Figura 4.6. Punto di misura 4



Figura 4.7. Punto di misura 5



Figura 4.8. Punto di misura 6



Figura 4.9. Punto di misura 7



Figura 4.10. Punto di misura 8



Figura 4.11. Punto di misura 9



Figura 4.12. Punto di misura 10



Figura 4.13. Punto di misura 11

I valori di riferimento consigliati dalla UNI10829 per i parametri ambientali relativi alla conservazione della categoria di beni presenti nella *sala mostre* sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 4.2. Valori consigliati di temperatura e umidità relativa in base alla categoria di beni presenti nella sala espositiva.

Materiali costituenti la collezione	T (°C)	ΔT (°C)	UR (%)	ΔUR (%)
a) materiali/ oggetti di natura organica				
Manufatti artistici in carta, manoscritti	18 - 22	1,5	40 - 55	6
Documenti archivistici su carta o pergamena e materiale d'archivio	13 - 18		50 - 60	
Libri preziosi, libri rilegati in pelle, pergamena, miniature	19 - 24	1,5	45 - 55	6
b) materiali/ oggetti di natura inorganica				
Metalli, metalli levigati, leghe metalliche, argenti, armature, armi, bronzi, monete, oggetti in rame, stagno, ferro, acciaio, piombo	N.R.		< 50	
Metalli con siti di corrosione attivi	N.R.		< 40	
c) oggetti misti				
foto grafie in bianco e nero	0 - 15		30 - 45	
N.R.= non rilevante				

Nella tabella 4.3 sono riportati i valori medi, minimi e massimi di temperatura esterna e la percentuale di umidità media registrati mensilmente per tutto il periodo di monitoraggio. L'andamento medio delle due variabili outdoor è raffigurato alla fig. 4.14.

Tabella 4.3. Valori outdoor di temperatura e umidità relativa – gen 17- mag 18

Mese	T media (°C)	T min (°C)	T max (°C)	UR %
gen-17	7,5	1,5	13	83,5
feb-17	10	3,5	17	77,5
mar-17	14	8	21	75
apr-17	13,5	5,5	21,5	70,5
mag-17	18,5	12	25	67
giu-17	24,5	17	31,5	70,5
lug-17	28,5	21,5	33	69,5
ago-17	26,5	22	31,5	68
set-17	20	16,5	23,5	80,5
ott-17	20	15	25	81
nov-17	12	8	17	81
dic-17	8	2	13	86,5
gen-18	10,5	6	15	86,5
feb-18	6,5	2	11	88
mar-18	13	9	17	90,5
apr-18	15,5	10,5	20,5	90
mag-18	18	12,5	23,5	88,5

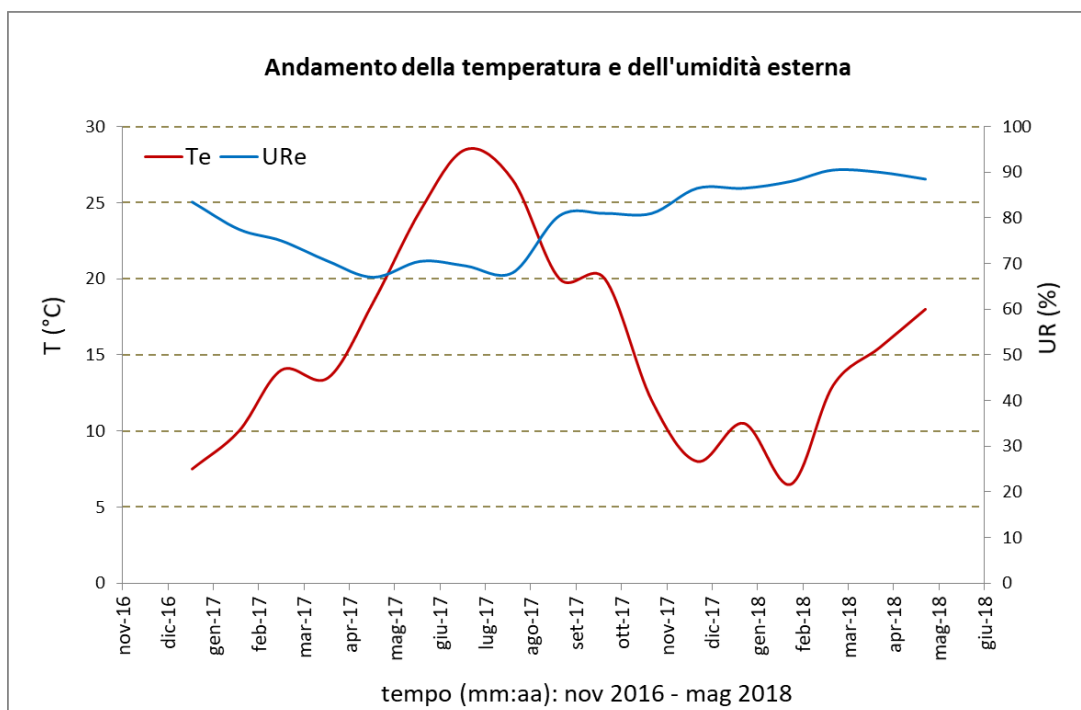


Figura 4.14. Andamento della temperatura e dell'umidità relativa esterna – nov. 2016 - mag. 2018

Tabella 4.4. Misurazioni di temperatura riferite ai diversi punti di rilievo nel periodo di riferimento considerato.

Misure di temperatura (°C)											
Periodo monitoraggio	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	St 10	St 11
20.01.2017	17,6	17,8	17,8	17,9	17,8	17,9	17,8	17,6	17,5	17,5	17,4
10.02.2017	17,5	17,7	17,7	17,7	17,8	17,8	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5
20.02.2017	17,3	17,5	17,5	17,5	17,6	17,6	17,6	17,5	17,4	17,4	17,3
10.03.2017	18,3	18,3	18,3	18,3	18,8	18,9	18,5	18,7	18,8	18,8	18,7
21.03.2017	18,1	18,2	18,2	18,2	18,4	18,4	18,4	18,3	18,3	18,4	18,4
11.04.2017	19,6	19,5	19,5	19,6	19,5	19,7	19,7	19,6	19,5	19,6	19,5
20.04.2017	22,3	22,6	22,6	22,6	22,5	23	23	23,1	22,8	22,7	22,9
10.05.2017	26,7	26,5	26,7	26,7	26,4	26,4	26,5	26,5	26,6	26,8	26,8
20.05.2017	28,7	28,8	28,7	28,7	28,9	28,8	28,9	28,7	28,6	28,6	28,6
10.06.2017	30,4	30,3	30,4	30,4	30,6	30,6	30,6	30,3	30,4	30,3	30,3
20.06.2017	31,6	31,7	31,6	31,6	31,5	31,6	31,5	31,3	31,3	31,2	31,3
10.07.2017	33	33,3	33,2	33,2	33,1	33,1	33,1	33	33,1	33	33
20.07.2017	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,2	33,2	33	33	33,1	33,1
10.08.2017	34,5	34,7	34,3	34,3	34,2	34,2	34,2	34	34	34,1	34,2
20.08.2017	34,1	34,2	34,2	34,2	34,3	34,2	34,2	33,9	33,9	34	34
10.09.2017	29,2	29,4	29,4	29,5	29,4	29,3	29,3	29,1	29,1	29,2	29,2
20.09.2017	26,1	26,3	26,4	26,5	26,5	26,4	26,4	26,4	26,3	26,4	26,3
10.10.2017	19,3	19,7	19,7	19,8	19,8	19,8	19,7	20	20,1	20,1	20,2
20.10.2017	18,1	18,5	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	18,5	18,4	18,4	18,3
10.11.2017	18,2	18,7	18,8	18,8	18,7	18,8	18,8	18,4	18,3	18,4	18,5
21.11.2017	18,2	18,7	18,8	18,8	18,7	18,8	18,7	18,4	18,3	18,4	18,4
10.12.2017	18	18,6	18,8	18,7	18,7	18,7	18,6	18,4	18,3	18,4	18,4
20.12.2017	17,8	18,3	18,5	18,6	18,7	18,6	18,5	18,2	18,2	18,2	18,3
10.01.2018	17,6	17,8	17,8	17,9	17,8	17,9	17,8	17,6	17,5	17,5	17,4
20.01.2018	17,6	17,8	17,9	17,9	17,8	17,9	17,8	17,6	17,4	17,5	17,4
10.02.2018	17,5	17,7	17,7	17,7	17,8	17,7	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5
20.02.2018	17,3	17,5	17,5	17,5	17,6	17,5	17,6	17,5	17,4	17,4	17,3
10.03.2018	18,3	18,2	18,3	18,3	18,8	18,9	18,5	18,7	18,8	18,8	18,7
20.03.2018	18,1	18,2	18,2	18,2	18,4	18,3	18,4	18,3	18,3	18,4	18,4
10.04.2018	19,6	19,5	19,5	19,6	19,5	19,7	19,7	19,6	19,5	19,6	19,5
20.04.2018	21,3	21,6	20,6	20,6	20,5	20	21	21,1	21,8	21,6	21,7
10.05.2018	24,7	24,5	24,7	24,7	25,5	25,4	26,5	26,5	26,6	26,7	26,7
20.05.2018	25,7	25,8	25,7	25,7	25,9	25,8	26,9	26,7	26,6	26,6	26,6

Tabella 4.5. Misurazioni di umidità relativa riferite ai diversi punti di rilievo nel periodo di riferimento considerato.

Misure di umidità relativa (%)											
Periodo monitoraggio	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	St 10	St 11
20.01.2017	59	59	59	59	59	58	59	60	60	60	60
10.02.2017	60	59	59	59	58	58	58	61	61	61	61
20.02.2017	64	63	62	62	62	62	62	64	64	63	64
10.03.2017	60	60	60	60	60	60	60	61	61	61	61
21.03.2017	57	55	54	54	54	54	54	54	54	54	54
11.04.2017	54	54	54	53	54	54	54	57	57	57	57
20.04.2017	53	54	53	53	53	53	53	55	55	55	55
10.05.2017	51	50	50	50	50	51	50	53	53	53	53
20.05.2017	51	50	50	50	50	51	50	53	53	53	53
10.06.2017	49	49	47	47	46	46	46	49	49	49	49
20.06.2017	49	49	47	47	46	46	46	49	49	49	49
10.07.2017	46	46	44	44	44	44	44	46	46	46	46
20.07.2017	46	45	44	43	43	43	43	44	44	44	45
10.08.2017	44	42	42	42	41	41	41	42	42	42	42
20.08.2017	42	40	40	40	41	41	41	40	40	40	40
10.09.2017	44	42	42	42	43	43	43	42	42	42	42
20.09.2017	45	46	46	46	46	45	45	46	46	46	46
10.10.2017	47	46	46	46	46	46	46	48	48	48	48
20.10.2017	52	51	50	50	51	51	51	52	52	53	53
10.11.2017	57	57	56	56	56	56	56	58	58	59	59
21.11.2017	57	57	56	56	56	56	56	58	58	59	59
10.12.2017	57	57	56	56	56	56	56	58	57	59	59
20.12.2017	58	58	57	56	57	56	57	58	58	58	58
10.01.2018	59	59	59	59	59	58	59	60	60	60	60
20.01.2018	59	59	59	59	59	58	59	60	60	60	60
10.02.2018	60	59	59	59	58	58	58	61	61	61	61
20.02.2018	64	63	61	62	62	62	61	63	63	62	63
10.03.2018	60	60	60	61	60	60	60	61	61	61	62
20.03.2018	57	56	56	56	55	55	55	56	54	55	54
10.04.2018	54	54	55	53	54	54	54	57	57	57	57
20.04.2018	53	54	53	53	53	53	53	55	55	55	55
10.05.2018	51	50	50	50	50	51	51	53	53	53	53
20.05.2018	52	52	51	51	50	53	51	53	54	54	54

Tabella 4.6. Misurazioni di illuminamento riferite ai diversi punti di rilievo nel periodo di riferimento considerato.

Misure di illuminamento (lux)											
Periodo monitoraggio	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	St 10	St 11
20.01.2017	2960	2970	2970	2970	2975	2975	2975	1590	1590	1595	1595
10.02.2017	2840	2850	2850	2850	2860	2850	2860	1570	1570	1575	1575
20.02.2017	2830	2840	2840	2840	2840	2840	2850	1560	1560	1565	1565
10.03.2017	2940	2945	2945	2945	2950	2950	2950	1580	1580	1585	1585
21.03.2017	2960	2970	2970	2970	2975	2975	2975	1590	1590	1595	1595
11.04.2017	3120	3150	3150	3150	3165	3165	3165	1660	1660	1670	1670
20.04.2017	3200	3230	3230	3230	3240	3240	3240	1780	1780	1785	1785
10.05.2017	3870	3880	3880	3880	3890	3890	3890	1790	1790	1795	1795
20.05.2017	4150	4210	4200	4200	4220	4220	4220	1900	1900	1990	1990
10.06.2017	5500	5510	5510	5510	5525	5525	5525	3300	3300	3320	3320
20.06.2017	5520	5545	5545	5545	5560	5560	5560	3355	3355	3360	3360
10.07.2017	5700	5760	5900	5900	5910	5910	5910	3420	3420	3435	3450
20.07.2017	5830	5900	5930	5930	5970	5970	5970	3430	3430	3445	3445
10.08.2017	5875	5990	6100	6100	6220	6220	6220	3435	3435	3450	3450
20.08.2017	5870	5980	5990	5990	6000	6000	6000	3480	3480	3485	3485
10.09.2017	5300	5400	5410	5410	5830	5830	5830	3500	3500	3510	3510
20.09.2017	5115	5190	5200	5200	5390	5390	5390	3420	3420	3430	3430
10.10.2017	4800	4830	4830	4830	4845	4845	4845	3100	3100	3100	3100
20.10.2017	4400	4460	4460	4460	4480	4480	4480	2480	2480	2485	2485
10.11.2017	3600	3650	3650	3650	3700	3700	3700	1970	1970	1975	1975
21.11.2017	3600	3645	3650	3650	3650	3660	3700	1950	1950	1950	1955
10.12.2017	3550	3600	3630	3640	3650	3650	3620	1910	1945	1940	1940
20.12.2017	3510	3580	3590	3590	3600	3600	3600	1900	1920	1920	1925
10.01.2018	2960	2970	2970	2970	2975	2975	2975	1590	1590	1595	1595
20.01.2018	2955	2965	2965	2965	2975	2970	2970	1590	1585	1585	1585
10.02.2018	2840	2850	2850	2850	2860	2850	2860	1570	1570	1575	1575
20.02.2018	2830	2845	2850	2845	2840	2845	2850	1560	1560	1565	1565
10.03.2018	2940	2945	2945	2945	2950	2950	2950	1580	1580	1585	1585
20.03.2018	2960	2975	2970	2970	2975	2980	2980	1590	1590	1595	1595
10.04.2018	3120	3150	3150	3150	3165	3165	3165	1660	1660	1670	1670
20.04.2018	3200	3230	3230	3230	3240	3240	3240	1780	1780	1785	1785
10.05.2018	3870	3880	3880	3880	3890	3890	3885	1790	1790	1795	1795
20.05.2018	3890	4210	3890	3890	3890	3895	3890	1890	1890	1960	1960

4.3 Risultati ottenuti

Dalla raccolta dati è stato possibile procedere al calcolo dei valori minimi medi e massimi stagionali delle variabili termo-igrometriche con riferimento a tutti i punti di rilievo. Si è provveduto inoltre a plottare l'andamento dei parametri, confrontati con i valori limite di riferimento in funzione del tipo di bene esposto.

Tabella 4.7. Valori di temperatura e umidità relativa– Stazione 1

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 1						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016 – feb-2017)	17,4	17,5	17,6	59	60,5	62
Primavera (mar-mag 2017)	18,2	22,3	27,7	51	54,3	58,5
Estate (giu – ago 2017)	31	32,8	34,3	43	46	49
Autunno (set – nov 2017)	18,2	21,5	27,7	44,5	50,3	57
Inverno (dic 2017– feb 2018)	27,70	29,35	31	57,5	59,5	62
Primavera (mar-mag 2018)	18,20	21,3	25,2	51,5	54,5	58,5

Tabella 4.8. Valori di temperatura e umidità relativa – Stazione 2

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 2						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016– feb 2017)	17,6	17,7	17,8	59	60	61
Primavera (mar-mag 2017)	18,3	22,3	27,65	50	53,8	57,5
Estate (giu – ago 2017)	31	32,9	34,45	41	45,2	49
Autunno (set – nov 2017)	18,7	21,9	27,9	44	49,8	57
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,6	18,0	18,5	57,5	59,2	61
Primavera (mar-mag 2018)	18,2	21,3	25,2	51	54,3	40

Tabella 4.9. Valori di temperatura e umidità relativa – Stazione 3

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 3						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016– feb 2017)	17,6	17,7	17,8	59	59,75	60,5
Primavera (mar-mag 2017)	18,3	22,3	27,7	50	53,5	57
Estate (giu – ago 2017)	31	32,8	34,25	41	44,0	47
Autunno (set – nov 2017)	18,8	21,9	27,9	44	49,3	56
Inverno (dic 2017– feb 2018)	17,6	18,0	18,7	56,5	58,5	60
Primavera (mar-mag 2018)	18,3	21,2	25,2	50,5	54,2	58

Tabella 4.10. Valori di temperatura e umidità relativa – Stazione 4

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 4						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016– feb 2017)	17,6	17,75	17,9	59	59,75	60,5
Primavera (mar-mag 2017)	18,3	22,4	27,7	50	53,3	57
Estate (giu – ago 2017)	31	32,8	34,25	41	43,8	40
Autunno (set – nov 2017)	18,8	22,0	28,0	44	49,3	56
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,6	18,1	18,7	56	58,5	60,5
Primavera (mar-mag 2018)	18,3	21,2	25,2	50,5	54,0	58,5

Tabella 4.11. Valori di temperatura e umidità relativa – Stazione 5

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 5						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016 – feb 2017)	17,7	17,75	17,8	59	59,5	60
Primavera (mar-mag 2017)	18,6	22,4	27,65	50	53,5	57
Estate (giu – ago 2017)	31,05	32,8	34,25	41	43,5	46
Autunno (set – nov 2017)	18,7	21,9	28,0	44,5	49,7	56
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,7	18,1	18,7	56,5	58,5	60
Primavera (mar-mag 2018)	18,6	21,4	25,7	50	53,7	57,5

Tabella 4.12. Valori di temperatura e umidità relativa – Stazione 6

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 6						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016– feb 2017)	17,7	17,8	17,9	58	59	60
Primavera (mar-mag 2017)	18,7	22,5	27,6	51	53,8	57
Estate (giu – ago 2017)	31,1	32,8	34,2	41	43,5	46
Autunno (set – nov 2017)	18,8	21,9	27,9	44	49,5	56
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,6	18,1	18,7	56	58,0	60
Primavera (mar-mag 2018)	18,6	21,4	25,6	52	54,3	57,5

Tabella 4.13. Valori di temperatura e umidità relativa – Stazione 7

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 7						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic – feb 2017)	17,7	17,73	17,8	59	59,5	60
Primavera (mar-mag 2017)	18,5	22,5	27,7	50	53,5	57
Estate (giu – ago 2017)	31,05	32,8	34,2	41	43,5	46
Autunno (set – nov 2017)	18,75	21,9	27,9	44	49,5	56
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,7	18,0	18,6	56,5	58,3	59,5
Primavera (mar-mag 2018)	18,5	21,8	26,7	51	54,0	57,5

Tabella 4.14. Valori di temperatura e umidità relativa - Stazione 8

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 8						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic – feb 2017)	17,6	17,57	17,6	60	61,25	62,5
Primavera (mar-mag 2017)	18,5	22,5	27,6	53	55,5	57,5
Estate (giu – ago 2017)	30,8	32,6	33,95	41	45	49
Autunno (set – nov 2017)	18,4	21,8	27,8	44	50,7	58
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,6	17,8	18,3	58	60	62
Primavera (mar-mag 2018)	18,5	21,8	26,6	53	55,8	58,5

Tabella 4.15. Valori di temperatura e umidità relativa - Stazione 9

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 9						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016– feb 2017)	17,5	17,475	17,5	60	61,25	62,5
Primavera (mar-mag 2017)	18,6	22,4	27,6	53	55,5	57,5
Estate (giu – ago 2017)	30,85	32,6	33,95	41	45,0	49
Autunno (set – nov 2017)	18,3	21,8	27,7	44	50,7	58
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,5	17,7	18,3	57,5	59,8	62
Primavera (mar-mag 2018)	18,6	21,9	26,6	53,5	55,7	57,5

Tabella 4.16. Valori di temperatura e umidità relativa - Stazione 10

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 10						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016 – feb 2017)	17,5	17,475	17,5	60	61	62
Primavera (mar-mag 2017)	18,6	22,5	27,7	53	55,5	57,5
Estate (giu – ago 2017)	30,75	32,6	34,05	41	45,0	49
Autunno (set – nov 2017)	18,4	21,8	27,8	44	51,2	59
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	58,5	60,0	61,5	58,5	60,0	61,5
Primavera (mar-mag 2018)	18,6	22,0	26,7	53,5	55,8	58

Tabella 4.17. Valori di temperatura e umidità relativa - Stazione 11

Valori massimi, medi e minimi stagionali - Stazione 11						
Stagione	T min (°C)	T med (°C)	T max (°C)	UR min (%)	UR med (%)	UR max (%)
Inverno (dic 2016 – feb 2017)	17,4	17,4	17,4	60	61,25	62,5
Primavera (mar-mag 2017)	18,6	22,5	27,7	53	55,5	57,5
Estate (giu – ago 2017)	30,8	32,7	34,1	41	45,2	49
Autunno (set – nov 2017)	18,45	21,8	27,8	44	51,2	59
Inverno (dic 2017 – feb 2018)	17,4	17,7	18,4	58,5	60,2	62
Primavera (mar-mag 2018)	18,6	21,9	26,7	53,5	55,8	58

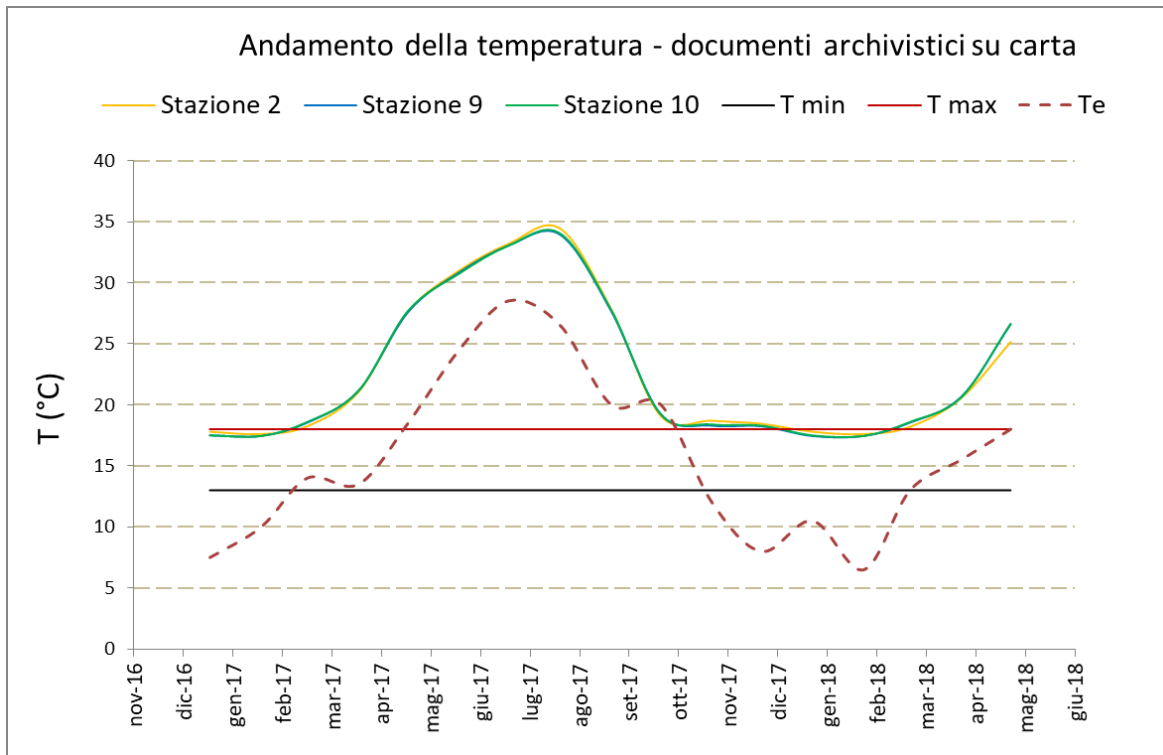


Figura 4.15. Profilo di temperatura – documenti archivistici su carta – dic 16 – mag 18

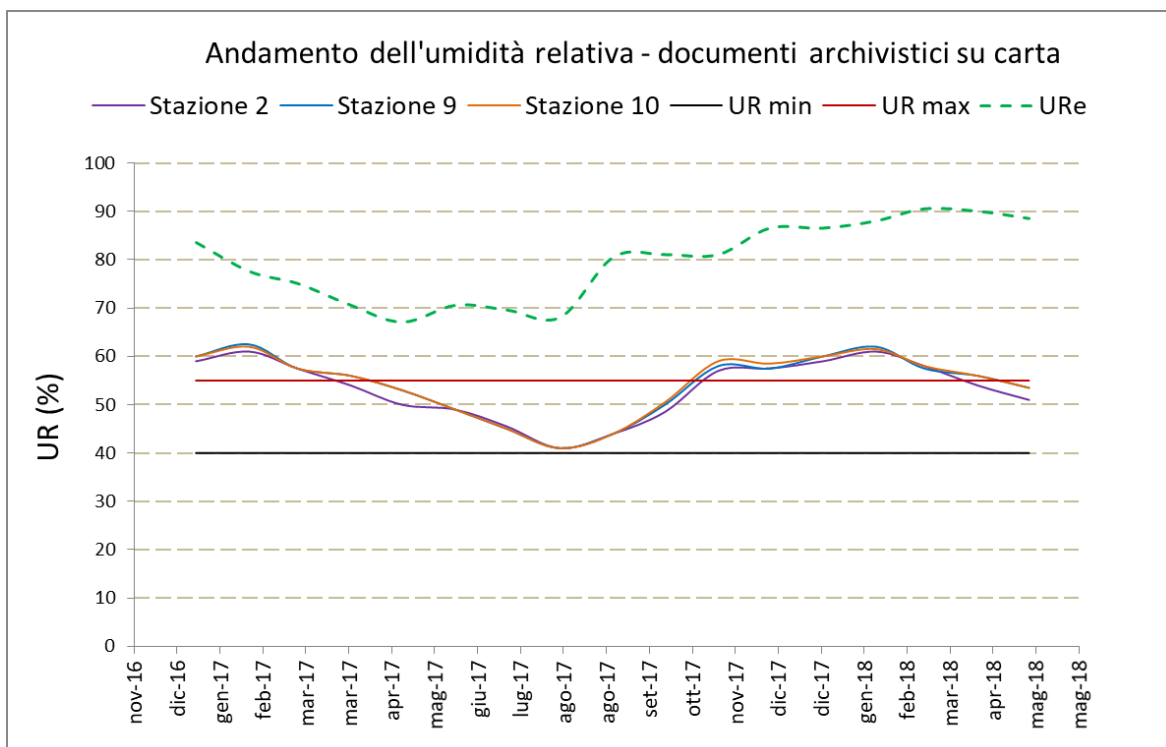


Figura 4.16. Profilo di umidità relativa – documenti archivistici su carta - dic 16 – mag 18

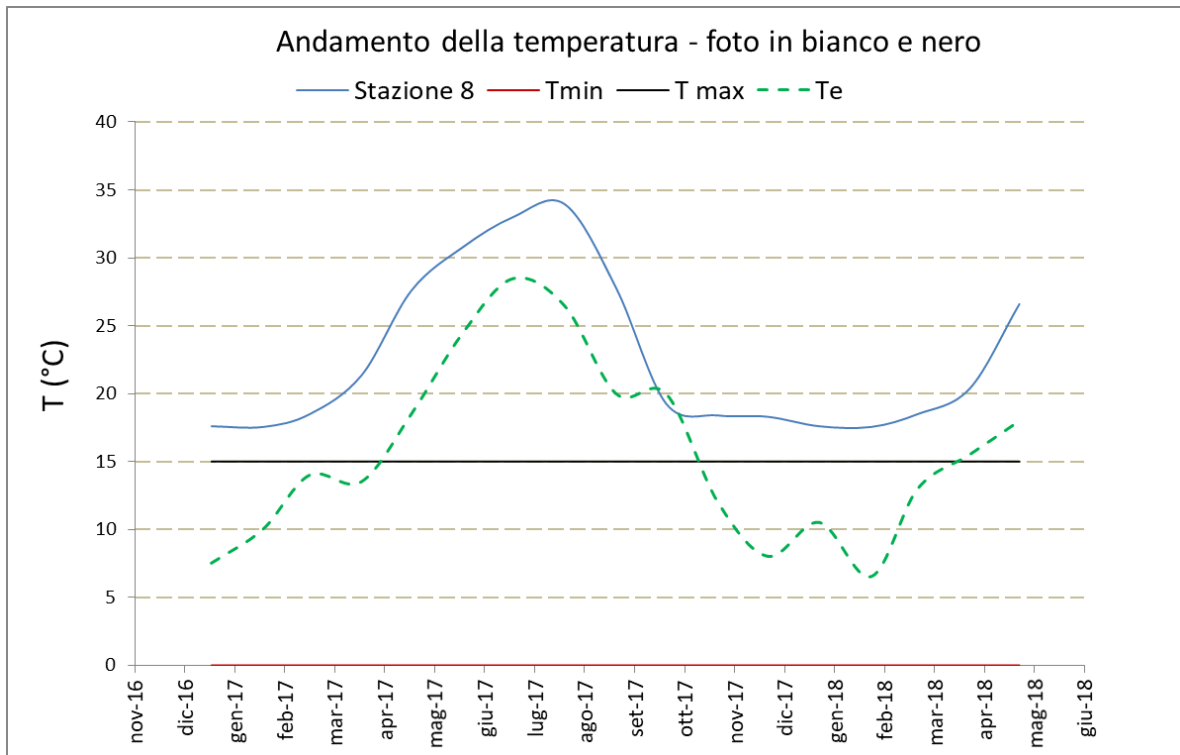


Figura 4.17. Profilo di temperatura – foto in bianco e nero - dic 16 – mag 18

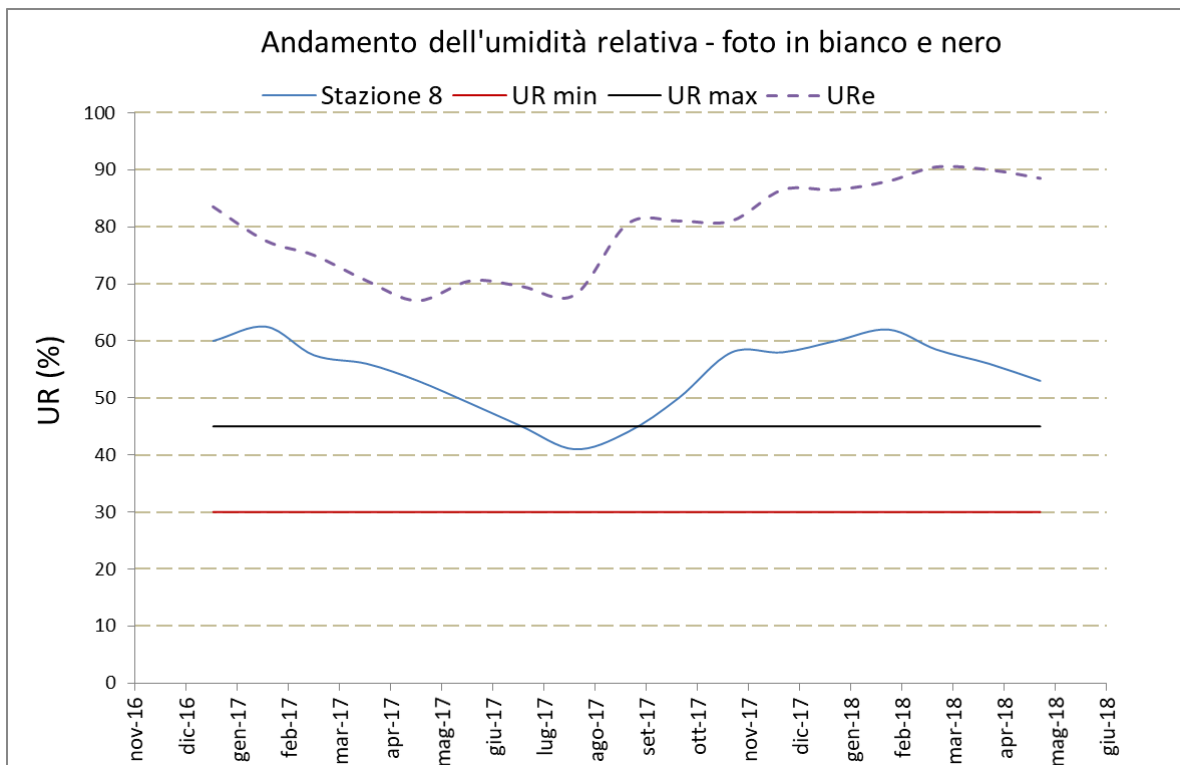


Figura 4.18. Profilo di umidità relativa – foto in bianco e nero - dic 16 – mag 18

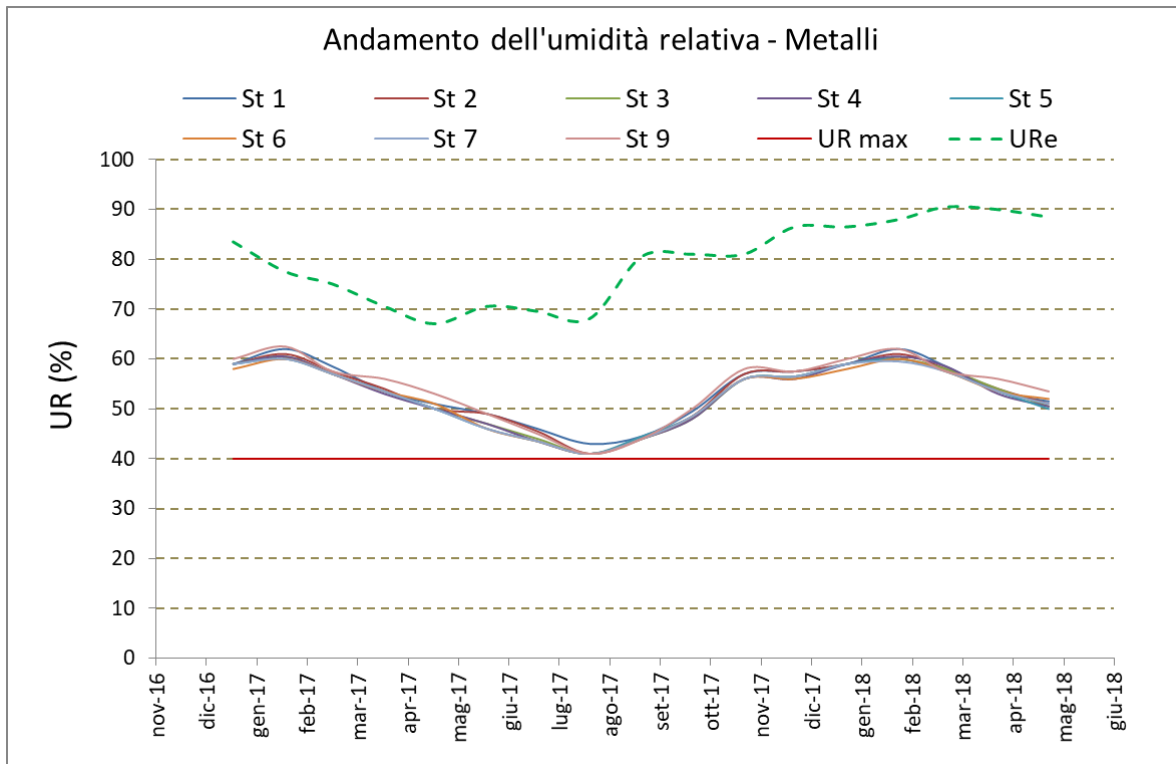


Figura 4.19. Profilo di umidità relativa – metalli - dic 16 – mag 18

4.4 Esito del monitoraggio

In riferimento ai *documenti archivistici su carta (FIGXX)*, non si notano scostamenti rilevanti, dei parametri monitorati, nei differenti punti di rilievo. Gli intervalli di accettabilità per entrambe le variabili temperatura-umidità relativa, vengono appena rispettati unicamente nel trimestre dicembre-febbraio 17-18. Durante la stagione estiva, per temperature medie esterne dell'ordine dei 26-28 °C, si raggiungono, all'interno della sala, valori che sfiorano i 35 °C, ben al di sopra di quelli massimi consigliati. Questo aspetto deriva in larga parte dalla configurazione strutturale dell'ambiente, caratterizzato da ampie superfici vetrate orizzontali e verticali ed è accentuato dalla mancanza di un sistema di raffrescamento. Di contro, per quanto attiene l'umidità relativa, per quasi tutto l'arco dell'anno i valori misurati rientrano nel range consigliato, risultando fuori da quest'ultimo, di pochi punti percentuali, unicamente nella stagione autunno-inverno, nella quale la percentuale di umidità subisce un aumentato dato dalle innumerevoli infiltrazioni d'acqua meteorica.

Per quel che concerne le *foto in bianco e nero*, i valori dettati dalla UNI 10829:1999, richiedono condizioni climatiche stringenti e il più possibile stabili ($0 \leq T \leq 15$ °C, $30 \leq UR \leq 45$ %), che implicherebbero l'adozione di vetrine museali dotate di sistemi di controllo termo-igrometrici. Dai valori rilevati risulta, per tutto l'arco temporale considerato, il mancato raggiungimento dei parametri normati, eccezion fatta per il bimestre lug-ago 2017, rispetto al quale si registrano valori di umidità relativa ricadenti nel range consigliato.

Il mancato controllo dell'umidità relativa, le ampie volumetrie degli spazi espositivi, le infiltrazioni di acqua meteorica sono aspetti che concorrono alla sussistenza di un ambiente non idoneo all'esposizione dei *manufatti metallici*, i quali presentano evidenti segni di degrado.

Un ulteriore parametro da tenere sotto controllo è rappresentato dall'illuminamento. Quest'ultimo, è stato rilevato per tutte le stazioni di monitoraggio, evidenziando valori ben al di sopra di quelli consigliati. Tale grandezza risulta tanto più importante se associata a materiali sensibili di tipo cartaceo, in quanto l'esposizione continua a fonti luminose comporta l'innescarsi di reazioni chimiche che conducono ad irreversibili modificazioni molecolari percepibili, poi, come alterazioni cromatiche, evidenziate dalla comparsa di ingiallimenti e imbrunimenti. Per questa categoria di beni, la norma raccomanda valori annuali massimi consentiti di 50 lux per un periodo non superiore a due mesi ogni cinque anni. La presenza di superfici finestrate poste in copertura rende l'illuminazione naturale e l'irraggiamento solare parametri difficili da controllare.

5 Conclusioni

Negli ambienti espositivi il controllo dei parametri ambientali rappresenta una buona pratica preventiva al fine di assicurare la durabilità delle opere nel tempo. La variazione delle condizioni ambientali esterne, la scarsa qualità degli edifici, il gran numero di visitatori e l'illuminazione sono i principali fattori esterni che possono influire sul rapido deterioramento delle opere d'arte. Il presente lavoro analizza le condizioni di conservazione dei beni esposti nelle principali aree espositive dei musei facenti parte del plesso della Grande Miniera di Serbariu.

Dall'indagine condotta nella sala espositiva principale del museo dei Paleo Ambienti Sulcitani è risultato che la stagione più critica sia quella estiva nella quale non si raggiungono le condizioni ottimali di conservazione per i reperti *fossili* all'interno delle vetrine site al piano terra e al piano primo, con valori di temperatura ben al di sopra di quelli consigliati dalla UNI10829 (15 a 25 °C). Per il restante periodo di monitoraggio il sito soddisfa i requisiti termici richiesti. L'umidità relativa ricade mediamente all'interno della percentuale suggerita, eccezion fatta per i mesi di novembre e dicembre nei quali risulta al di sopra del limite massimo di circa 10 punti percentuali. Dallo studio sulla ripartizione verticale della temperatura all'interno della sala l'ambiente è risultato in tal senso relativamente omogeneo nel mese di dicembre.

I beni collocati nello spazio espositivo principale del museo del Carbone sono di vario tipo e per tanto sono richieste condizioni termo-igrometriche differenziate. Nello specifico:

- per i *documenti archivistici su carta* le misure di temperatura e umidità relativa ricadono negli intervalli di accettabilità ($13 \leq T \leq 18$ °C; $50 \leq UR \leq 60$ %) unicamente nel trimestre dicembre - febbraio 17-18. Anche in questo caso la stagione più critica è risultata essere quella estiva con valori ricadenti fuori dal range consigliato.
- per le *foto in bianco e nero* si registra il mancato raggiungimento, per l'intero arco temporale preso ad esame, dei parametri normati ($0 \leq T \leq 15$ °C; $30 \leq UR \leq 45$ %) ad eccezione del bimestre luglio-agosto 17, nel quale i valori di umidità relativa rispettano quelli richiesti.
- per i *manufatti metallici* l'ambiente espositivo è risultato non idoneo ai fini conservativi.

In tutti i punti di rilievo, i valori di illuminamento si sono rivelati ben al di sopra di quelli consigliati.

Dalle indagini gli ambienti non sono risultati sempre idonei per la salvaguardia dei beni esposti, tuttavia si potrebbe valutare un ricollocamento di questi all'interno della sale, valutando se opportuno l'installazione di sistemi impiantistici per il controllo dei parametri ambientali.

Per avere un quadro completo circa le condizioni di conservazione dei manufatti, un'ulteriore osservazione sull'analisi condotta potrebbe essere ricercata nel monitoraggio dei parametri termo-igrometrici in un intervallo di tempo più vasto. Quest'ultimo aspetto permetterebbe di valutare in modo approfondito le condizioni generali di conservazione degli stessi al fine di preservarli.

6 Riferimenti bibliografici

1. Thomson g., The museum environment, p. 293, Butterworths, London, 1986;
2. Camuffo D., Microclimate for cultural heritage, p. 415, Elsevier, Amsterdam, 1998;
3. Camuffo D. Bernardi a., Microclimate in the Chiericati Palace Municipal Museum, Vicenza, Museum Management and Curatorship, March 1995;
4. Pavlogeorgatos g., Environmental parameters in museums, Building and Environment, December 2003;
5. Thomson, 1986; Stolow, 1987; Camuffo, 1998) (Aghemo et al.; 1997;
6. Aghemo C., Filippi M., Prato E. 1997. Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico. Ricerca bibliografica comparata. Comitato Giorgio Rota;
7. UNI, 1999, Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi. Italian Standard UNI 10829;
8. Ministero per i beni e le attività culturali, D.M. 10.5.2001 atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei, Italian Minister Degree g.U. n. 238, 19.10.2001;
9. Unesco, Museum architecture beyond the "temple" and beyond, Museum published by Unesco n. 4, 1989.