

DIAGNOSI DELLE PROBLEMATICHE DI UNA COPERTURA DI GRANDI DIMENSIONI MEDIANTE COMBINAZIONE DI TECNICHE DI MONITORAGGIO, SIMULAZIONI NUMERICHE DINAMICHE E TERMOGRAFIA ALL'INFRAROSSO

di

* Alessandro Ziletti

Introduzione

Il presente articolo riguarda la diagnosi delle problematiche di un sistema di copertura di un'importante struttura sportiva del Nord Italia, struttura che era caratterizzata da un rilevante e diffuso stillicidio in numerose posizioni con la conseguenza di bagnare la pavimentazione lignea sottostante creando problemi per lo svolgimento delle attività sportive e con la analoga conseguenza di bagnare gli spalti creando disagio per il pubblico.

E' importante notare che il fenomeno dello stillicidio si verificava indistintamente sia durante le ore seguenti a eventi meteorici sia durante periodi di piovosità nulla: questo ha fatto sorgere il dubbio che la manifestazione potesse avere origine anche diversa da una difettosità del sistema di tenuta alle intemperie quali condensazioni all'interno del pacchetto di copertura.

Metodologia di indagine

Le informazioni necessarie ad effettuare le valutazioni tecniche sono state acquisite mediante monitoraggio dei parametri di umidità e temperatura dell'aria, come dettagliatamente descritto nel prosieguo di questo scritto.

A seguito di tali misurazioni, tenendo conto dei dati acquisiti, si sono effettuate delle analisi numeriche sul comportamento termoigrometrico della copertura secondo le norme UNI EN ISO 13788 e UNI EN 15026.

Si sono inoltre svolti sopralluoghi durante i momenti in cui lo stillicidio era maggiormente marcato e sono stati effettuati sopralluoghi in copertura.

Descrizione della struttura esistente

L'edificio oggetto di indagine è stato edificato una decina di anni fa ed è caratterizzato da una superficie coperta di circa 9400 m². La forma della copertura è tridimensionale e complessa, con considerevoli differenze di altezza (da +6 a +25 m dalla quota della pavimentazione centrale) e con presenza di pendenze variabili da pochi punti percentuali (parte piana) a oltre 70°. La quota della copertura è variabile dal momento che essa è una figura tridimensionale complessa.

La stratigrafia esistente della copertura era così composta, partendo dalla superficie interna:

- Supporto in lamiera grecata
- Barriera al vapore in PE
- Lana minerale (spessore 90 mm)
- Membrana impermeabilizzante

La copertura è sostenuta da un sistema strutturale reticolare tridimensionale.

Il pacchetto di copertura così costituito risulta caratterizzato da una trasmittanza termica calcolata in conformità con la norma UNI EN ISO 6946 pari a 0,40 W/m²K.

Monitoraggio delle grandezze termoigrometriche interne ed esterne

Il monitoraggio delle grandezze termoigrometriche è stato effettuato ininterrottamente e 24h/24h a partire dalla seconda metà di gennaio sino alla fine di marzo.

Si sono installati 7 dispositivi, le cui caratteristiche di sensibilità di misura sono riportate nella tabella 1.

tipologia strumento	grandezze fisiche rilevate	intervallo misura temperatura	intervallo misura umidità	note
A	temperatura	da -60 a +155 °C	-	
B	temperatura	da -199 a + 600°C	-	sensore di temperatura a contatto
C	temperatura, umidità	da 0°C a + 55 °C	da 10% a 95 %	
D	temperatura, umidità	da -30°C a +80°C	da 0 a 99%	

Tabella 1. caratteristiche dei data-logger impiegati

In particolare:

- due rilevatori di temperatura di tipo A sono stati posti sul canale di mandata di ciascuna delle due unità di trattamento aria.
- un rilevatore di temperatura e umidità ambiente di tipo C è stato posto in prossimità della ripresa dell'unità di trattamento aria posta ad est che risulta essere quella che viene utilizzata sempre (la unità posta ad ovest viene messa in funzione in cascata alla prima soltanto in caso di necessità).
- un rilevatore di temperatura e umidità di tipo C e, con funzione di ridondanza, un rilevatore di temperatura di tipo A, sono stati posti all'interno del reticolo di travi all'intradosso della copertura

- un rilevatore di temperatura e umidità di tipo D è stato posizionato all'esterno della struttura, su una parete orientata a Nord protetta da intemperie ed irraggiamento diretto
 - un rilevatore di temperatura di tipo B è stato posto a contatto con lo strato esterno del manto di copertura
- Uno degli aspetti più importanti del monitoraggio è costituito dal fatto che risultava importante acquisire i dati a misure in corso senza doverle interrompere. Dal momento che la maggior parte dei data logger era in posizione non accessibile, si è utilizzato un sistema in grado di trasmettere i dati da remoto tramite collegamento internet. Nella figura 1 sono riportate in pianta le posizioni delle sonde installate.

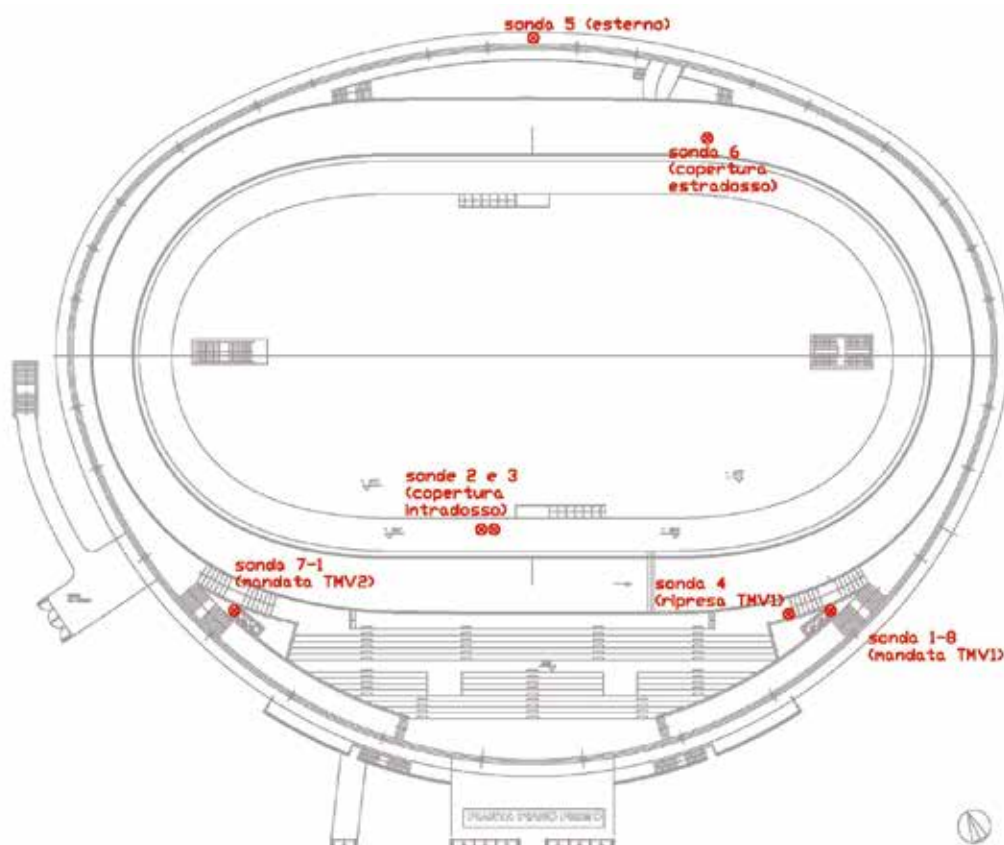


Figura 1. Rappresentazione in pianta della posizione degli strumenti di misura

Risultati del monitoraggio

Durante il periodo di misura si sono rilevate condizioni climatiche esterne con valori di temperatura abbastanza rigidi e umidità ambiente abbastanza elevata. La temperatura minima giornaliera normalmente è risultata essere inferiore ai 5°C e la temperatura massima non superiore ai 12°C. Le misure dell'umidità relativa dell'aria esterna sono caratterizzate dal valore medio dell'80%, con massimali prossimi alla saturazione (100%) e valori minimi, verificatisi in corrispondenza dei momenti più caldi e soleggiati, pari al 40%. La temperatura della superficie della copertura, in virtù dell'esposizione all'irraggiamento solare e allo scambio termico radiativo notturno con la volta celeste è risultata caratterizzata da un intervallo di valori di temperatura più ampio, mantenendo comunque andamento congruente con quello della temperatura dell'aria esterna.

Le condizioni termoigrometriche interne all'edificio risultano, come lecito attendere, fortemente influenzate dallo stato di accensione/spengimento dell'impianto di riscaldamento.

Si è rilevato che l'utilizzo dell'impianto durante la giornata tipo prevede l'accensione del riscaldamento prima dell'inizio delle attività (indicativamente alle h 7:00). Il riscaldamento rimane in funzione fino alla chiusura dell'attività (indicativamente alle h. 19:30) con una pausa di circa 120 minuti a cavallo dell'o-

riario di pranzo. E' stato riferito che questi intervalli sono variabili in funzione delle reali necessità di utilizzo della struttura e pertanto sono soggetti a possibili variazioni. In occasioni di necessità di elevata potenza riscaldante si è riscontrata l'attivazione, in cascata all'unità di trattamento aria ubicata ad est, della unità di trattamento aria ubicata ad ovest.

Sulla base dei rilievi effettuati dagli strumenti posti a quota bassa (ripresa UTA est) ed a quota elevata (all'intradosso della copertura), si è rilevato che la temperatura mantenuta all'interno della struttura varia normalmente tra i 14°C notturni e i circa 17-18°C durante l'orario di utilizzo, con punte di 20-21°C. Il valor medio delle misure di temperatura effettuate risulta pari a 17,4°C. La stratificazione termica all'interno dell'ambiente, considerando l'aria a quota pavimento e l'aria a quota +25 m (intradosso copertura) risulta influenzata dal funzionamento dell'impianto. Durante la notte, ad impianto spento, si nota come la stratificazione sia inversa: ciò è conseguenza del fatto che l'aria in prossimità della copertura risente della maggiore dispersione termica del tetto rispetto a quella che interessa il piano di calpestio, la cui esposizione è meno sfavorita.

Di seguito si riporta un grafico rappresentante l'andamento quantitativo della stratificazione termica durante un giorno tipo in regime di funzionamento invernale.

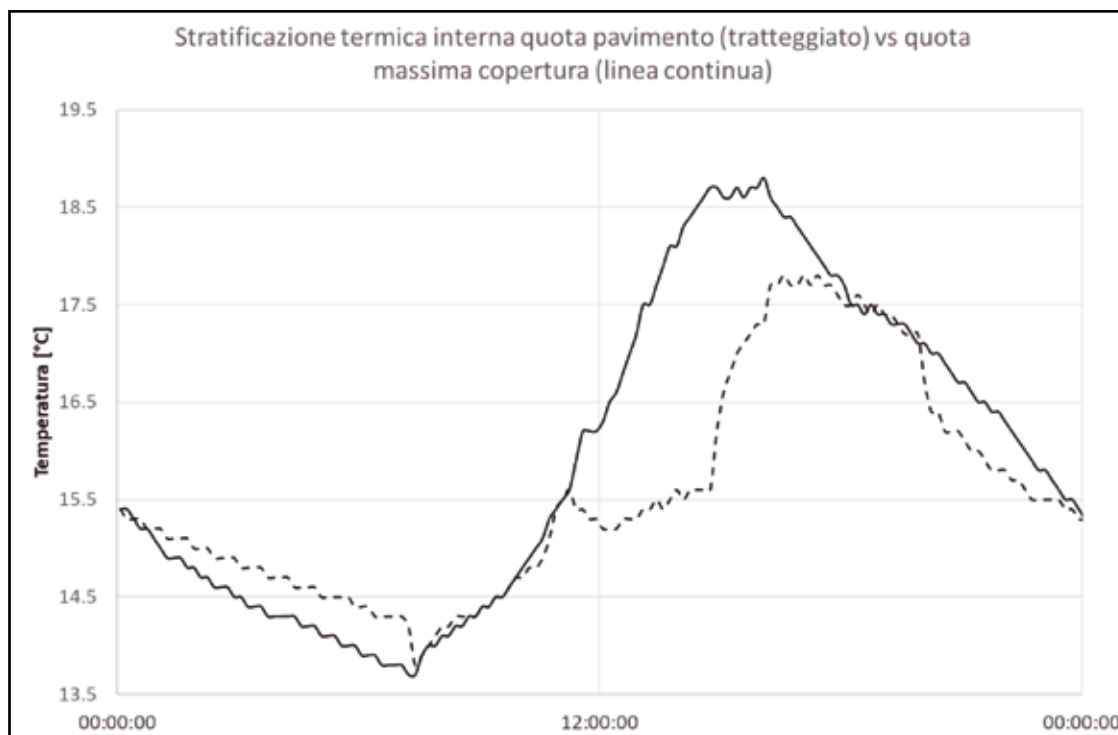


Figura 2. Andamento della stratificazione termica durante un giorno "tipo" invernale

L'umidità relativa interna, influenzata per definizione dalla temperatura dell'aria, varia normalmente tra i valori di 20 % e 50%, con picchi oltre il 60%. Il valore medio di questa grandezza, durante il periodo di misure strumentali, è stato pari al 40%. Il valore ha superato il 60% per una frazione inferiore

al 2% rispetto al totale del periodo di misura, e ha superato il 65% per una frazione inferiore allo 0,2% rispetto al totale del periodo di misura.

Di seguito si riportano i grafici degli andamenti delle grandezze monitorate.

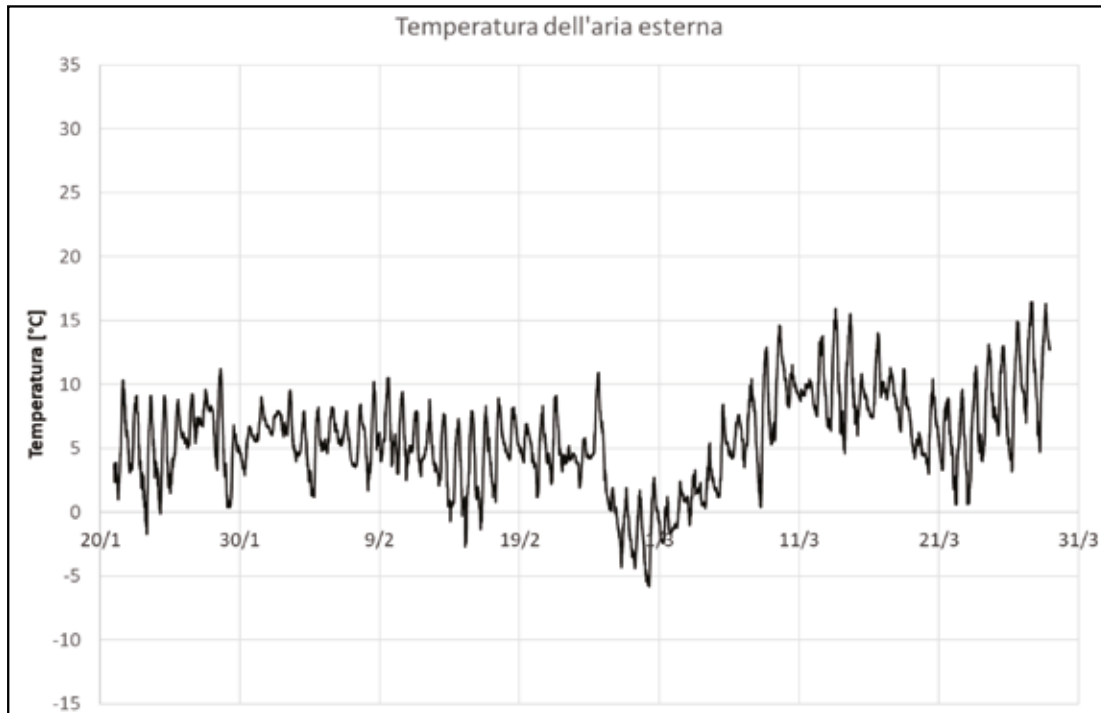


Figura 3. Andamento temperatura dell'aria esterna

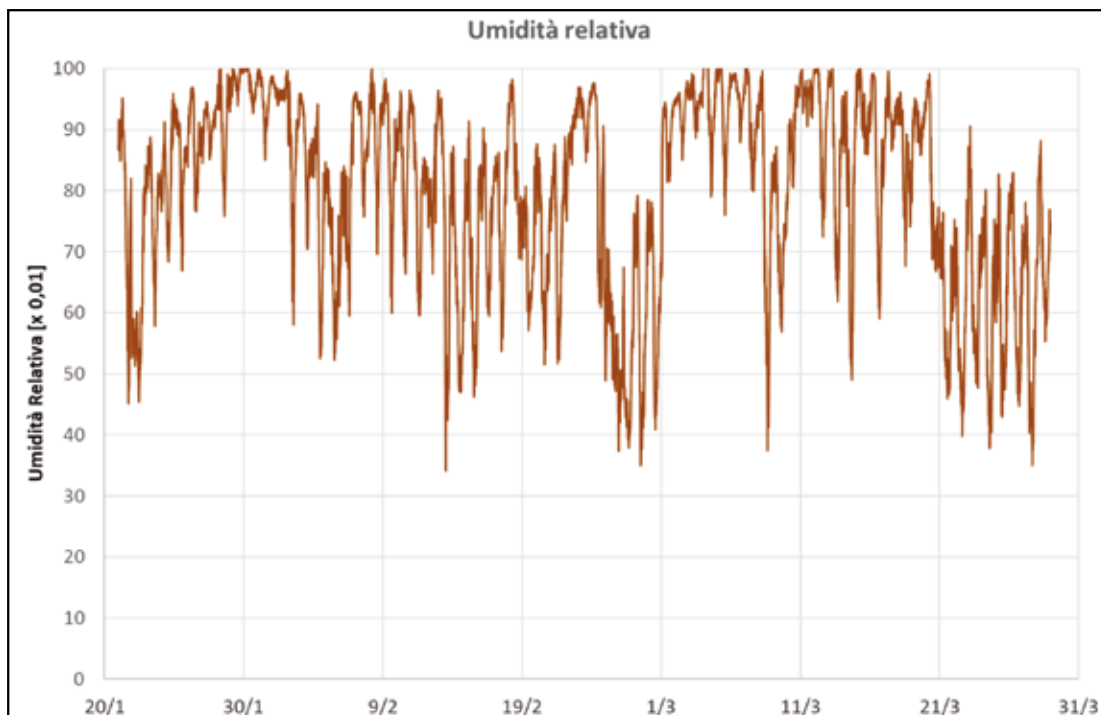


Figura 4. Andamento dell'umidità relativa dell'aria esterna

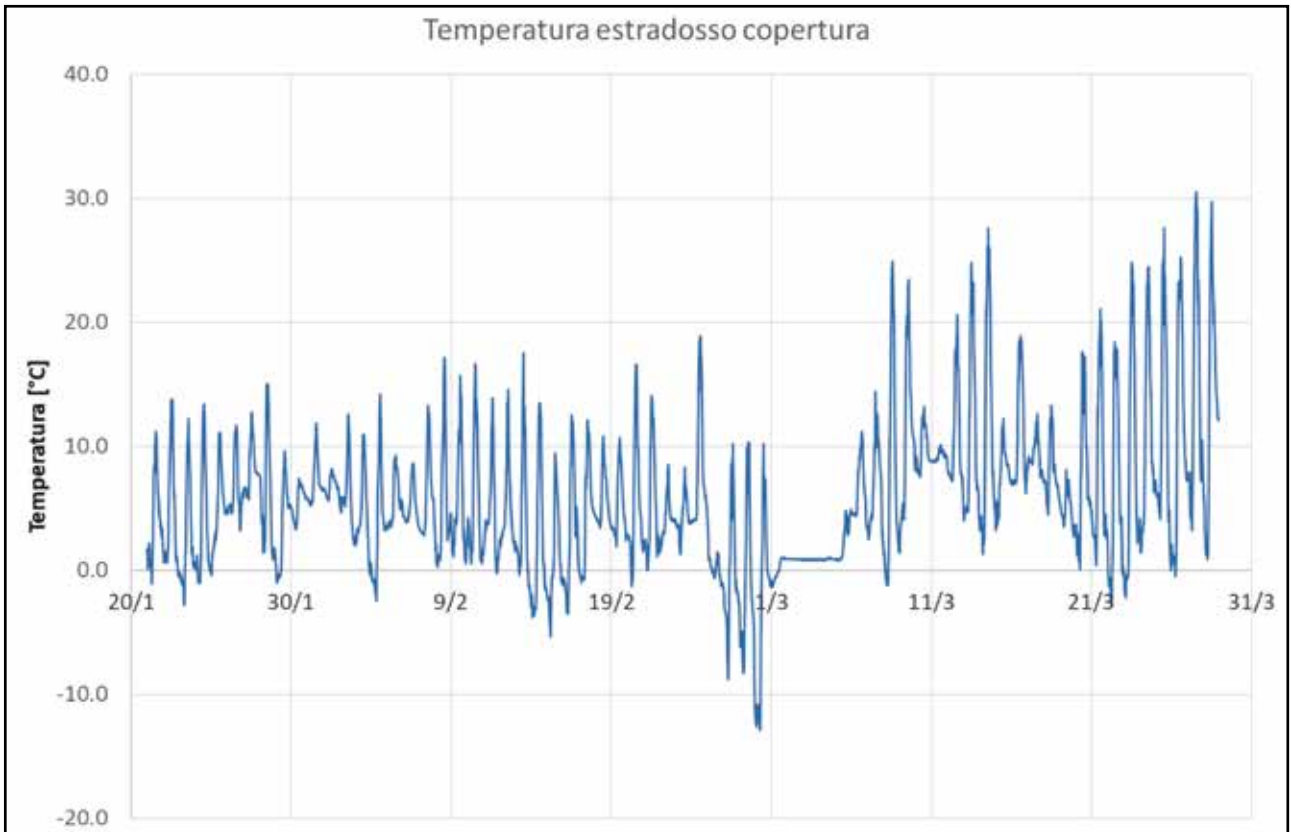


Figura 5. Andamento della temperatura superficiale dell'estradosso della copertura

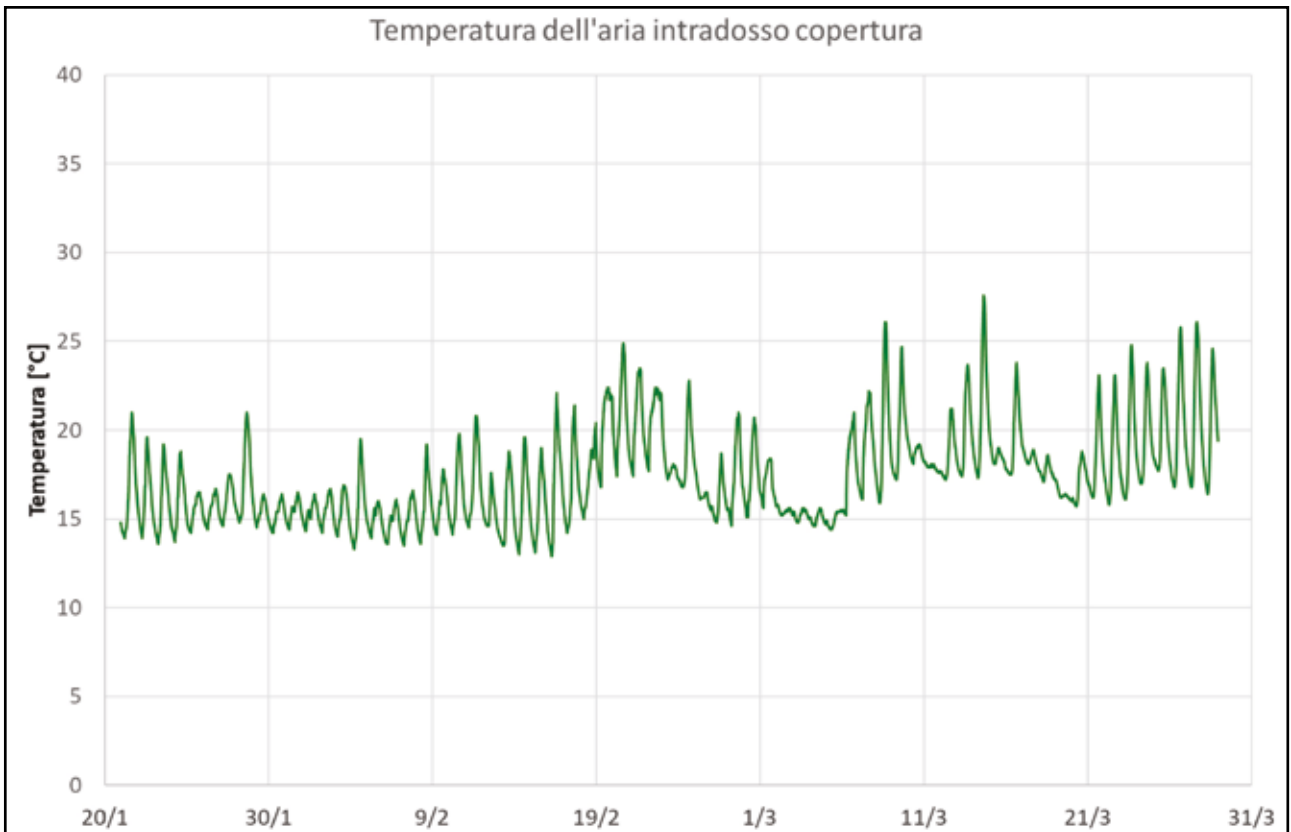


Figura 6. Andamento temperatura dell'aria in prossimità dell'intradosso della copertura

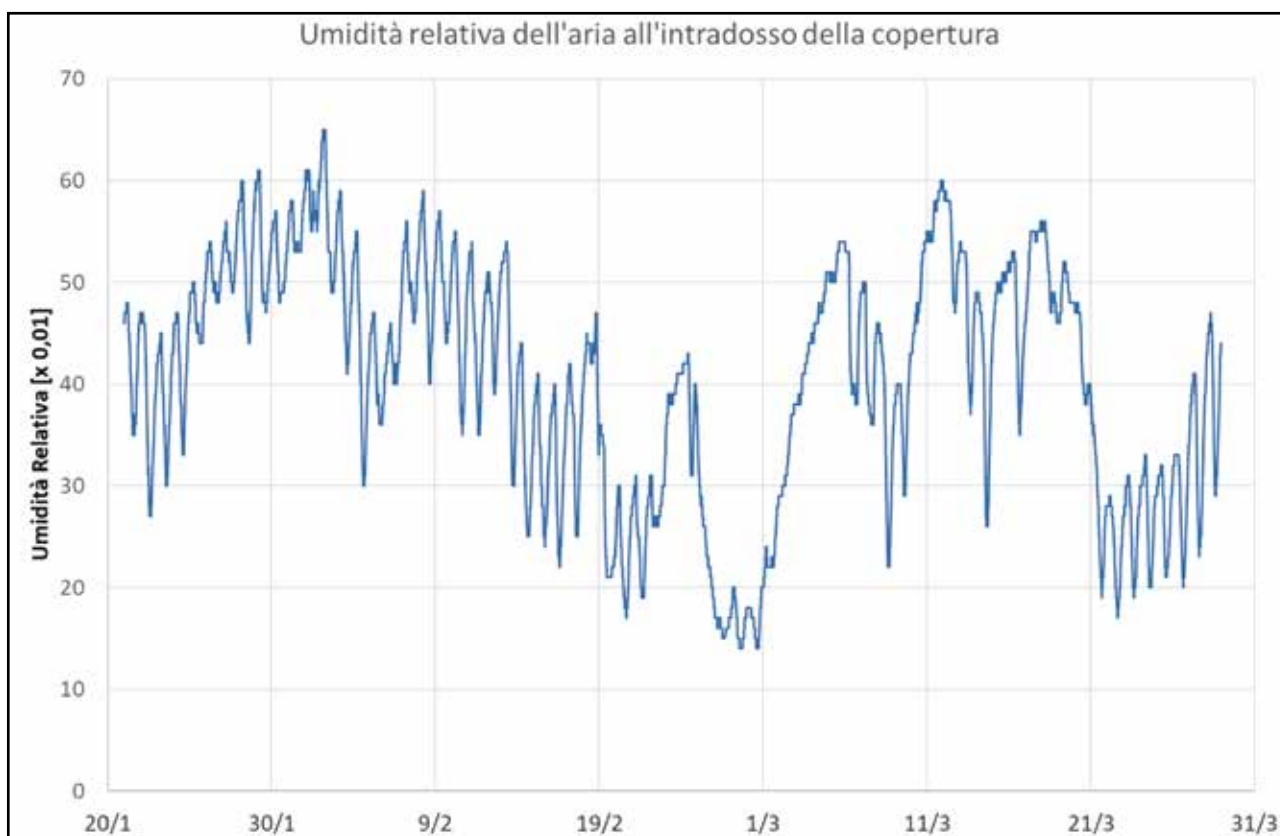


Figura 7. Andamento dell'umidità relativa dell'aria in prossimità dell'intradosso della copertura

In base ai dati rilevati si nota come nell'ambiente interno si sia in presenza di bassi tassi di umidità. A partire dai dati rilevati si sono effettuate delle simulazioni numeriche al fine di valutare le possibilità di condensa interstiziale.

Simulazioni termoigrometriche riguardanti la stratigrafia di copertura esistente

Le simulazioni igrometriche inerenti al comportamento della copertura esistente sono state condotte

secondo i metodi previsti dalla norma UNI EN ISO 13788 [1] e dalla norma UNI EN 15026 [2].

NORMA UNI EN ISO 13788:2013

Questa norma rappresenta il metodo standard per le valutazioni di condensa interstiziale all'interno delle strutture edili.

Di seguito si riporta il grafico della condensa accumulata all'interno dello strato coibente del pacchetto di copertura esistente:

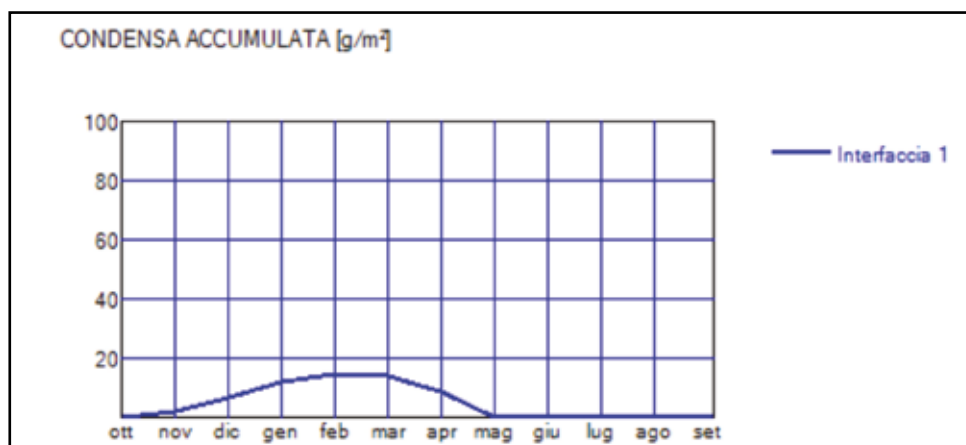


Figura 8 Quantità di condensa accumulata nello strato coibente secondo il metodo UNI EN ISO 13788

In base al calcolo effettuato secondo la norma UNI EN ISO 13788:2013 all'interno dello strato coibente si forma una modesta formazione di condensa interstiziale completamente rievaporabile durante l'anno solare.

NORMA UNI EN 15026:2008

La norma UNI EN 15026, come menzionato in un

altro articolo [3] pubblicato dall'autore su questa rivista, si basa su modelli matematici più articolati e complessi rispetto alla UNI EN ISO 13788 e proprio per questo consente di effettuare calcoli più accurati.

Di seguito si riporta il risultato della simulazione effettuata:

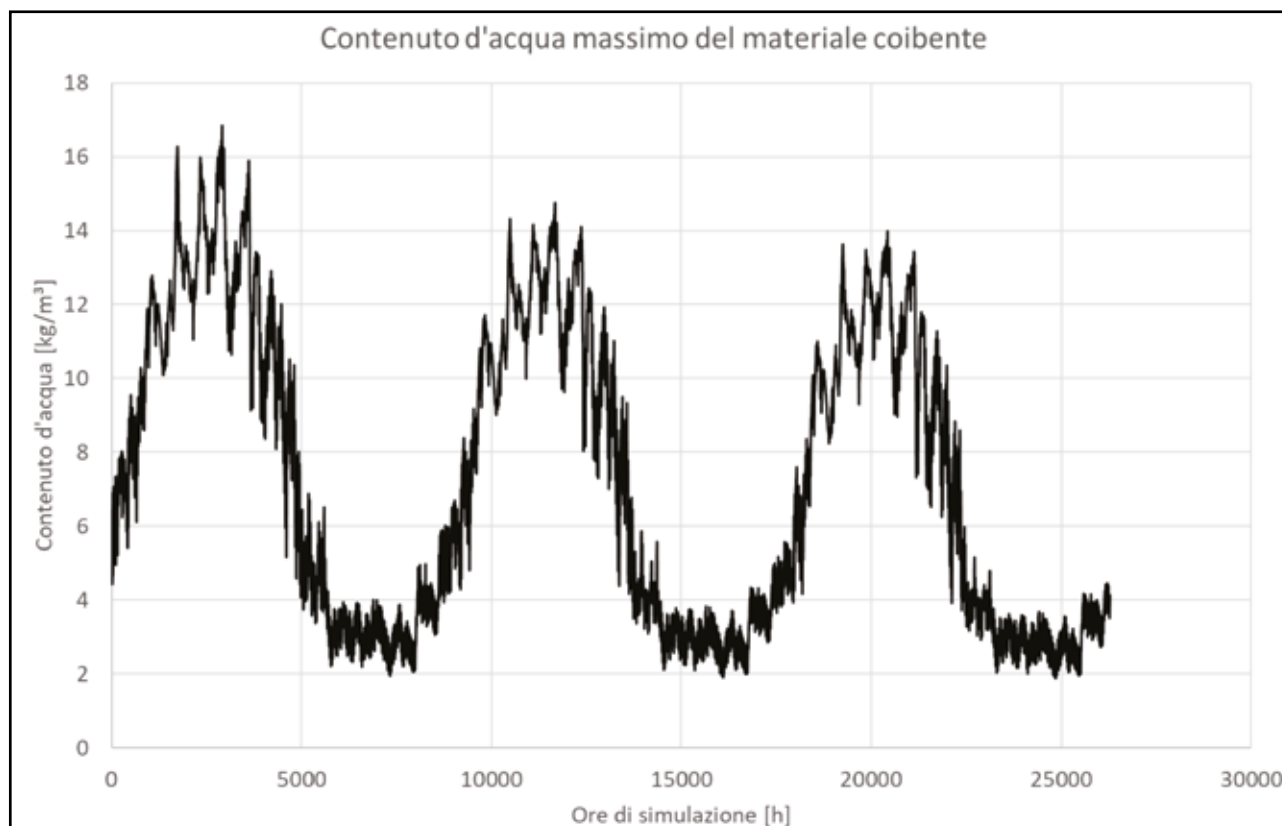


Figura 9 Andamento del contenuto d'acqua nello strato coibente secondo il metodo UNI EN 15026

In particolare, per la copertura in oggetto, si è calcolato un contenuto volumico d'acqua nello strato coibente inferiore a 20 kg/m^3 , che diminuisce durante la stagione calda fino a un minimo di circa 2 kg/m^3 . Si può pertanto ritenere che nella lana di roccia della copertura non ci siano in realtà fenomeni di condensazione interstiziale.

L'applicazione delle metodologie di calcolo ha quindi confermato che lo stillicidio che bagnava la pavimentazione non era dovuto a condensa interstiziale.

Problematiche di infiltrazione dall'esterno della copertura

Durante i sopralluoghi in copertura si è appurata la presenza di danni a livello del manto di impermeabilizzazione.

Detti danni erano, per quanto visibile, causati da grandine. Solo in un caso si era individuato un probabile difetto di saldatura tra teli. Inoltre, non si aveva nessuna certezza sulla data di origine dei danni in parola in confronto alla evidenza delle infiltrazioni. Non era quindi possibile individuare con certezza un nesso di causa-effetto tra i danni individuati e lo stillicidio.

Con l'ausilio della termografia ad infrarosso si è potuto identificare diversi punti in cui erano effettivamente presenti le infiltrazioni. Le indagini termografiche sono state svolte nelle ore seguenti ad eventi meteorici di non trascurabile entità.

Si riporta ad esempio una immagine di infiltrazione localizzata:

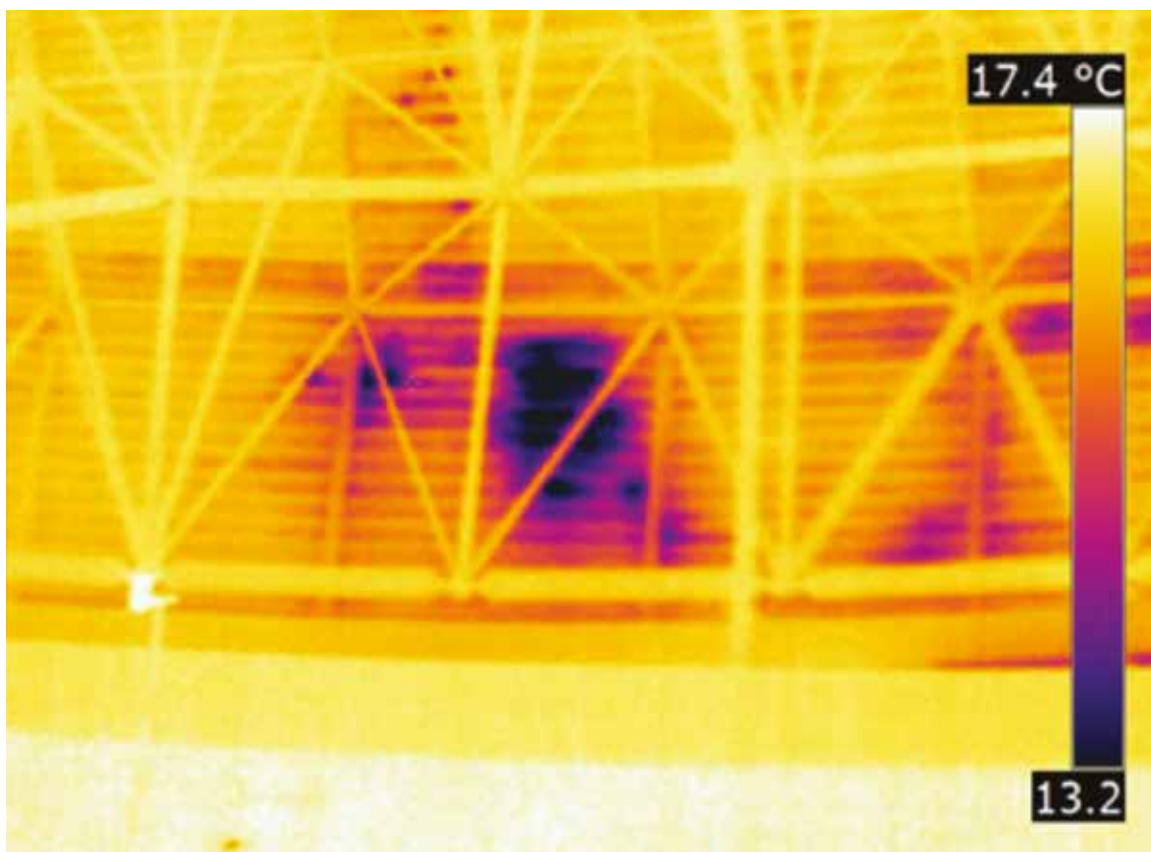


Figura 10 Termogramma all'infrarosso riguardante una porzione di copertura interessata da infiltrazione d'acqua meteorica

Conclusioni

Le problematiche delle grandi coperture risultano spesso di diagnostica complessa.

Specialmente quando si ha a che fare con acqua ed umidità.

Fortunatamente al giorno d'oggi si può contare su validi strumenti di misura e di calcolo: il monitoraggio dei parametri microclimatici ha consentito, nel caso di studio, di conoscere lo stato di conduzione dell'immobile e, coadiuvato dalle simulazioni numeriche condotte, ha portato ad escludere problemi di condensa interstiziale.

L'utilizzo della termografia ha inoltre consentito di avere informazioni qualitative sull'entità delle infiltrazioni dovute ad agenti atmosferici e di identificare i punti a maggiore criticità.

L'utilizzo congiunto e coordinato di metodologie di calcolo e di tecniche di indagine e misura ha consentito di effettuare la diagnosi della problematica in maniera non invasiva e limitando fortemente le opere edili, consentendo successivamente la pianificazione dei necessari interventi di risanamento. **E**

BIBLIOGRAFIA

- [1] norma UNI EN ISO 13788:2013 - Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo - UNI, Milano
- [2] norma UNI EN 15026:2008 - Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica - UNI, Milano
- [3] A. Ziletti - La riqualificazione termoigrometrica delle pareti a cassa vuota - neoEubios n.73, Anno XXI, settembre 2020; ISSN 1825-5515 - TEP srl, Milano

** Ing. Alessandro Ziletti,*

Termotecnico, Consulente energetico Casaclima, EGE Certificato, operatore termografico di II livello.

Studio di Ingegneria Ziletti (Brescia).

Svolge attività professionale come consulente nella progettazione edile e come progettista di impianti occupandosi inoltre di monitoraggio di performance impiantistiche e parametri microclimatici interni di edifici adibiti a diverse destinazioni d'uso.