

IL COLORE NEL PROGETTO TERMOTECNICO

di

* Carlotta Bersani e Gaia Piovani

Se fino a qualche decennio fa l'attenzione dei progettisti, soprattutto in climi come quello italiano, era posta sul comportamento energetico dell'edificio nel periodo invernale, dal 2005 il tema dell'estivo è entrato ampiamente nel contesto dell'efficienza energetica. Si sono infatti susseguiti una serie di decreti legislativi, fino al Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015 nel quale è stato introdotto in modo ancora più importante il comportamento estivo degli edifici e quindi la necessità di:

- non disperdere energia dall'interno verso l'esterno;
- non permettere l'ingresso di energia dall'esterno verso l'interno;
- ridurre i consumi.

Pertanto, occupandosi l'associazione ANIT di materiali isolanti e quindi anche di fisica tecnica dell'edificio, è risultato inevitabile non occuparsi delle relazioni che le strutture opache e trasparenti hanno con l'ambiente esterno e con l'ambiente interno. In particolare, risulta interessante comprendere anche l'impatto termotecnico che la scelta del colore delle superfici esterne dell'involucro edilizio ha all'interno di tali valutazioni e, in qualità di progettisti che necessitano di comprendere l'influenza della propria scelta, affrontare questo tema dal punto di vista progettuale.

L'articolo si propone di presentare un breve cenno sulla teoria della trasmissione del calore per inquadrare al meglio l'ambito di riferimento, per poi sottolineare quello che è il rapporto tra tale trasmissione e qualsiasi elemento opaco dell'involucro edilizio che dialoga con l'esterno. È in questo contesto che trova spazio anche il tema del colore: grazie a una collaborazione

con PPG Univer Industries, Sigma Coatings e ANIT, è stato possibile studiare l'efficacia in termini di assorbimento solare di particolari tecnologie poi inserite all'interno di pitture. Tramite ricerche e misurazioni in campo, nonché l'impiego di modelli di calcolo capaci di rendere subito fruibile la possibilità progettuale, è stato possibile ottenere risultati e considerazioni.

Cenni di teoria

Ogni corpo emette calore sotto forma di radiazione per effetto della sua temperatura: come è possibile notare nell'immagine (Fig. 1), al variare della temperatura del corpo varia anche la lunghezza d'onda della radiazione che esso emette.

La radiazione solare che raggiunge un corpo, inoltre, può essere riflessa, assorbita oppure trasmessa. Queste componenti sono quantificate tramite tre coefficienti differenti: il fattore di riflessione, il fattore di assorbimento e il fattore di trasmissione. È bene precisare, però, che ciò è valido per le superfici trasparenti; se si considerano corpi opachi, come facciate e coperture, la trasmissione risulta pari a zero e dunque la radiazione è solo in parte riflessa e in parte assorbita (Fig. 2).

Il parametro che interessa principalmente il presente articolo è il fattore di assorbimento solare, che indica in percentuale quanta radiazione che investe un corpo viene assorbita dallo stesso: un fattore di assorbimento elevato indica che il corpo assorbe più calore, mentre un fattore basso indica che ne assorbe meno. Il fattore di assorbimento solare non va confuso

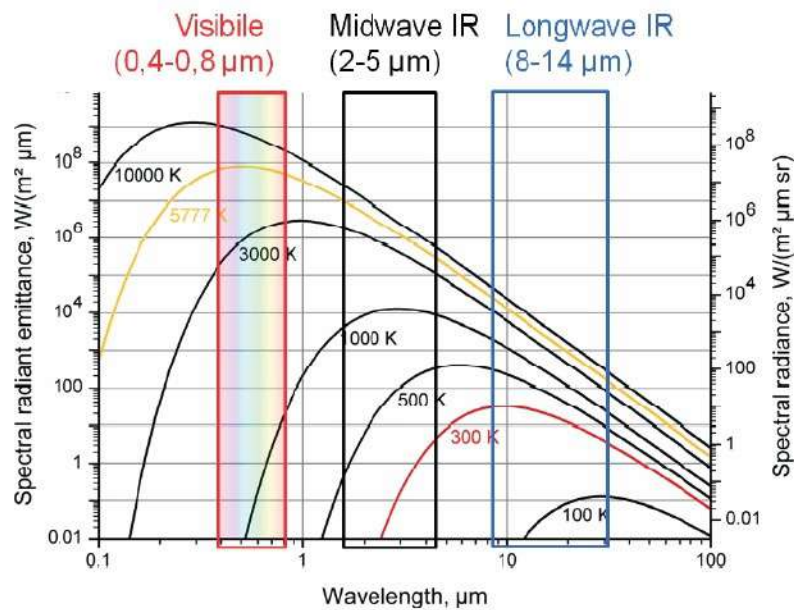


Figura 1: Irradianza di un corpo con diverse lunghezze d'onda per effetto della sua temperatura.

con un altro parametro, ovvero l'emissività ϵ , che indica invece la capacità di un corpo di emettere radiazione per effetto della sua sola temperatura.

Per comprendere al meglio tale differenza, si immagini di operare su due edifici, le cui superfici esterne di uno sono completamente bianche, mentre quelle del secondo completamente nere. Come illustrato in tabella (Tab. 1), la vernice nera, con fattore di assorbimento più elevato (97%) comporrà un assorbimento di calore delle facciate dell'edificio molto maggiore rispetto alla vernice bianca, che presenta un coefficiente α più basso (14%). Si immagini

ora che durante la notte, entrambe le strutture raggiungano una temperatura di 20°C: le superfici emetteranno praticamente la stessa quantità di energia verso la calotta celeste, nonostante nel visibile abbiano colori differenti. I valori di emissività della vernice bianca (93%) e della vernice nera (97%) differiscono infatti di poco.

È chiaro dunque che, per controllare l'energia solare in ingresso, è necessario innanzitutto saper controllare la temperatura superficiale esterna. Nel caso estivo, però, assume particolare importanza anche la scelta e la posizione dei materiali che compongono la

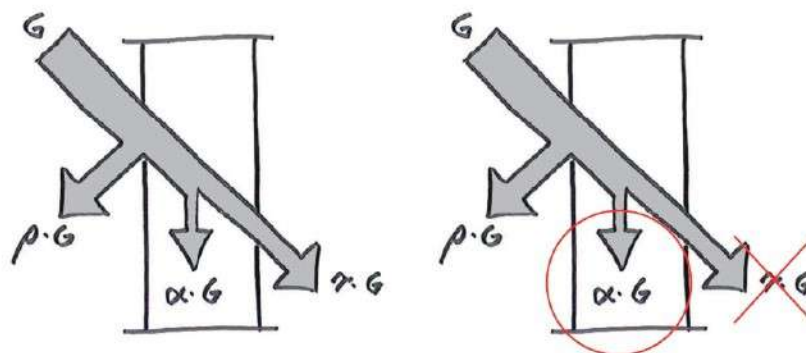


Figura 2: Comportamento di una superficie investita dalla radiazione solare. A sinistra, il comportamento di una superficie trasparente (es. vetro); a destra, il comportamento di una superficie opaca (es. facciata). Legenda: G = radiazione solare; ρ = coefficiente di riflessione; α = coefficiente di assorbimento; τ = coefficiente di trasmissione.

stratigrafia della struttura presa in esame: una buona capacità inerziale dei vari componenti permette di ridurre l'onda termica da fuori verso dentro e, con un contenimento delle temperature superficiali, di limitare quindi l'ingresso di energia negli ambienti interni (Fig. 3). La strategia progettuale di tenere bassa la temperatura superficiale consente di avere un delta di temperatura molto basso, che rappresenta un aspetto importante soprattutto se si opera sull'esistente, nel quale non è sempre possibile avere l'opportunità di lavorare con stratigrafie molto avanzate (i.e. materiali capacitivi oltre che isolanti) poiché non modificabili.

Per poter fare valutazioni su questi due temi, è necessario parlare anche di regime dinamico orario. A differenza dell'inverno, infatti, dove il comportamento piuttosto costante è descrivibile in regime stazionario, il calcolo orario in regime dinamico si presta meglio al periodo estivo, poiché permette di analizzare l'effetto dei fenomeni nel tempo con un passo di calcolo ridotto: è possibile capire il comportamento di una struttura per effetto di quello che accadeva qualche istante prima, governando l'accumulo e il rilascio di energia nelle strutture.

Superficie	α_s	ϵ
Alluminio lucido	0.09	0.03
Alluminio anodizzato	0.14	0.84
Metalli placcati in oss. Nickel nero	0.92	0.08
Metalli placcati in cromo nero	0.87	0.09
Alluminio in foglio	0.15	0.05
Calcestruzzo	0.60	0.88
Marmo bianco	0.46	0.95
Vernice bianca	0.14	0.93
Vernice nera	0.97	0.97
Laterizio rosso	0.63	0.93

Tabella 1: Valori tipo di coefficienti di assorbimento solare e emissività di rivestimenti superficiali comuni.

Comprendere l'interazione tra le superfici e le temperature che si sviluppano all'interno, assume importanza anche nel contesto del comfort. Se si osserva l'immagine riportata di seguito (Fig. 4), è possibile comprendere, al variare della stagione, dei mesi e delle ore, cosa accade all'interno dell'edificio in termini di temperature. In nero è rappresentato l'andamento della temperatura esterna per tutto l'anno solare in una certa località, mentre in blu la temperatura interna. È possibile inoltre notare una fascia di comfort, definita dalla presenza dell'impianto di riscaldamento durante i periodi invernali – che quindi non fa scendere la T_i al di sotto dei 20°C – e dell'impianto di raffrescamento nel periodo estivo – che permette di non superare mai i 26°C . Risultati di questo tipo vengono però generalmente espressi tramite una distribuzione di punti (Fig. 5), poiché il comfort non è un unico valore, bensì un insieme di risultati e di scenari che consentono di comprendere lo stato di benessere degli utenti all'interno dell'ambiente analizzato.

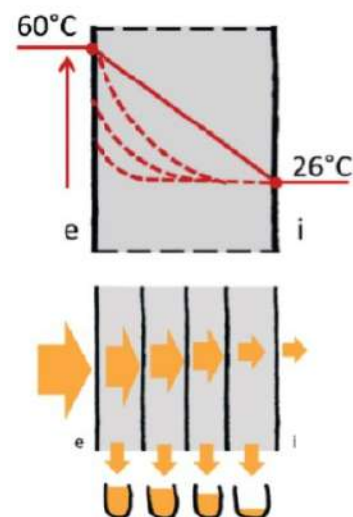


Figura 3: Strategie di contenimento energetico per una facciata irradiata dal sole (comportamento estivo).

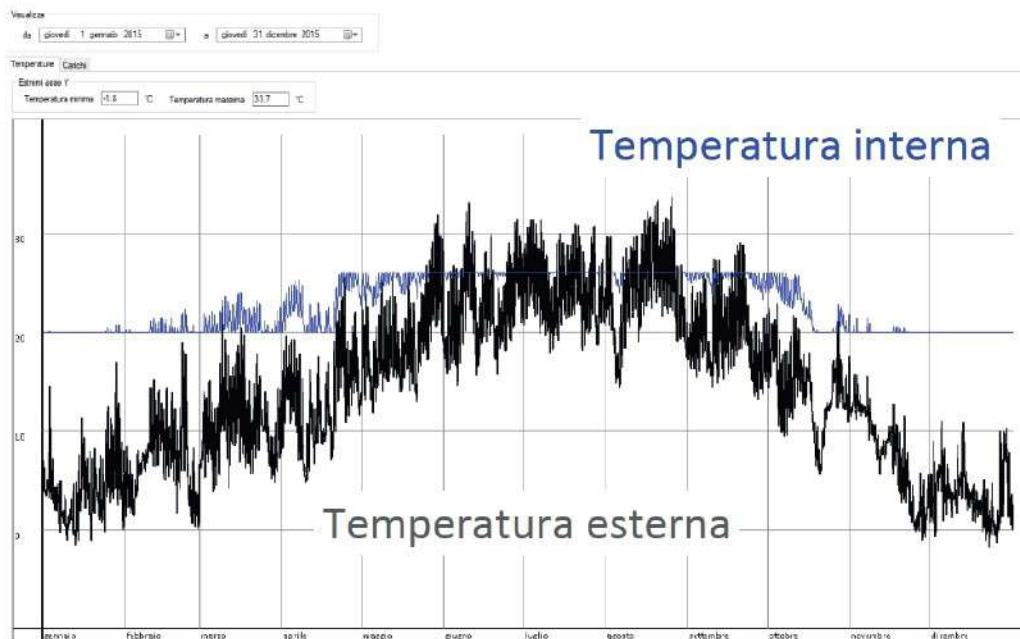


Figura 4: Distribuzione dell'andamento della temperatura esterna e della temperatura interna al variare dei mesi e delle ore.

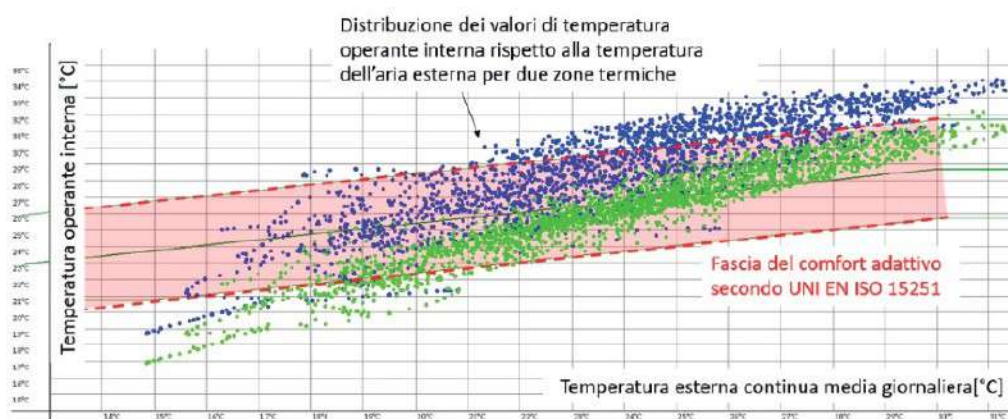


Figura 5: Distribuzione dei risultati di comfort relativi a due zone termiche differenti (in blu e in verde).

Ricerca in campo

Per gestire tutte queste informazioni teoriche da un punto di vista anche progettuale, è stata svolta una ricerca in campo. Sigma Coatings ha reso disponibili dei campioni con rivestimenti di colori diversi, forniti a coppie: per ogni colore uguale nel visibile, vi era un prodotto privo di pigmento UZC e un prodotto dotato di pigmento UZC; oltre a questa distinzione sono stati forniti

anche due campioni di colore bianco e nero per avere un riferimento rispetto al comportamento ideale di massimo e minimo assorbimento solare. Il pigmento UZC rappresenta una tecnologia in grado di influenzare l'assorbimento solare del rivestimento in cui è presente.

A titolo rappresentativo, le figure 6 e 7 rappresentano i due campioni per il colore C01 uguale nel visibile.

Il campione C01S (Fig. 4) è privo di pigmento UZC, mentre il campione C01U (Fig. 5) ha il pigmento UZC.

Il comportamento superficiale sarà dunque differente.

I campioni sono stati studiati nel seguente modo:

- come si nota nella Figura 10, sono stati disposti su superficie orizzontale in ambiente esterno e quindi esposti a irraggiamento solare diretto e diffuso per un numero apprezzabile di ore;
- una stazione metereologica (Fig. 8) ha registrato tramite acquirente (Fig. 9) con un passo di 10 minuti i dati di irraggiamento solare, temperatura dell'aria esterna, velocità del vento, umidità relativa;
- ogni 15-20 minuti è stata presa, tramite l'uso di termocamera IR professionale T 640 di Flir systems (Fig. 10), la temperatura superficiale dei campioni.

Le misure sono state ripetute nello stesso luogo in tre momenti diversi dell'anno solare, per valutare l'efficacia di tale pigmento con diverse condizioni ambientali, specialmente rispetto alla radiazione solare.

Le campagne di misura, inoltre, hanno portato a ottenere per i diversi campioni, distribuzioni

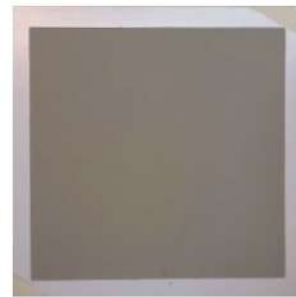


Figura 6: Campione C01S



Figura 7: Campione C01U



Figura 8: Stazione metereologica di rilevamento.



Figura 9: Acquisitore dei dati misurati.



Figura 10: Macchina termografica impiegata durante le misurazioni e campioni.

di temperatura superficiali che passano da valori massimi con il colore nero a valori minimi con il bianco, passando per situazioni intermedie con colori con e senza pigmento (Fig. 11).

Il fine ultimo delle misure, è stato stimare la riduzione del coefficiente di assorbimento solare dovuta al pigmento presente e comprenderne gli effetti positivi e l'applicabilità.

Di seguito si riportano, per ogni campagna effettuata, due grafici in cui sono rappresentati i dati di irraggiamento, temperatura superficiale dei campioni di riferimento bianco e nero e temperature superficiali dei campioni colorati. Il primo grafico, mostra i risultati per i campioni in esame C01S e C01U senza e con pigmento; il secondo grafico, mostra i risultati per tutti i campioni in esame.

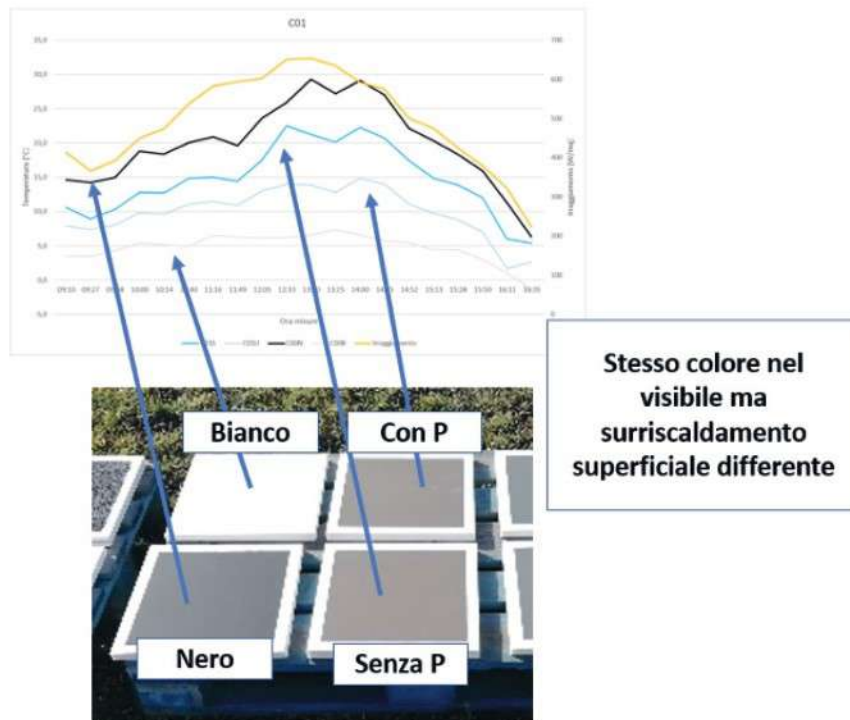


Figura 11: Esempio di distribuzione della temperatura superficiale al variare dei campioni. Legenda: Bianco = campione con rivestimento superficiale bianco; Nero = campione con rivestimento superficiale nero; Con P = campione con pigmento UZC; Senza P = campione senza pigmento UZC.

Prima campagna di misura

La prima campagna di misura è stata realizzata il giorno 7 febbraio 2022 e ha permesso di ottenere i seguenti risultati (Fig. 12).

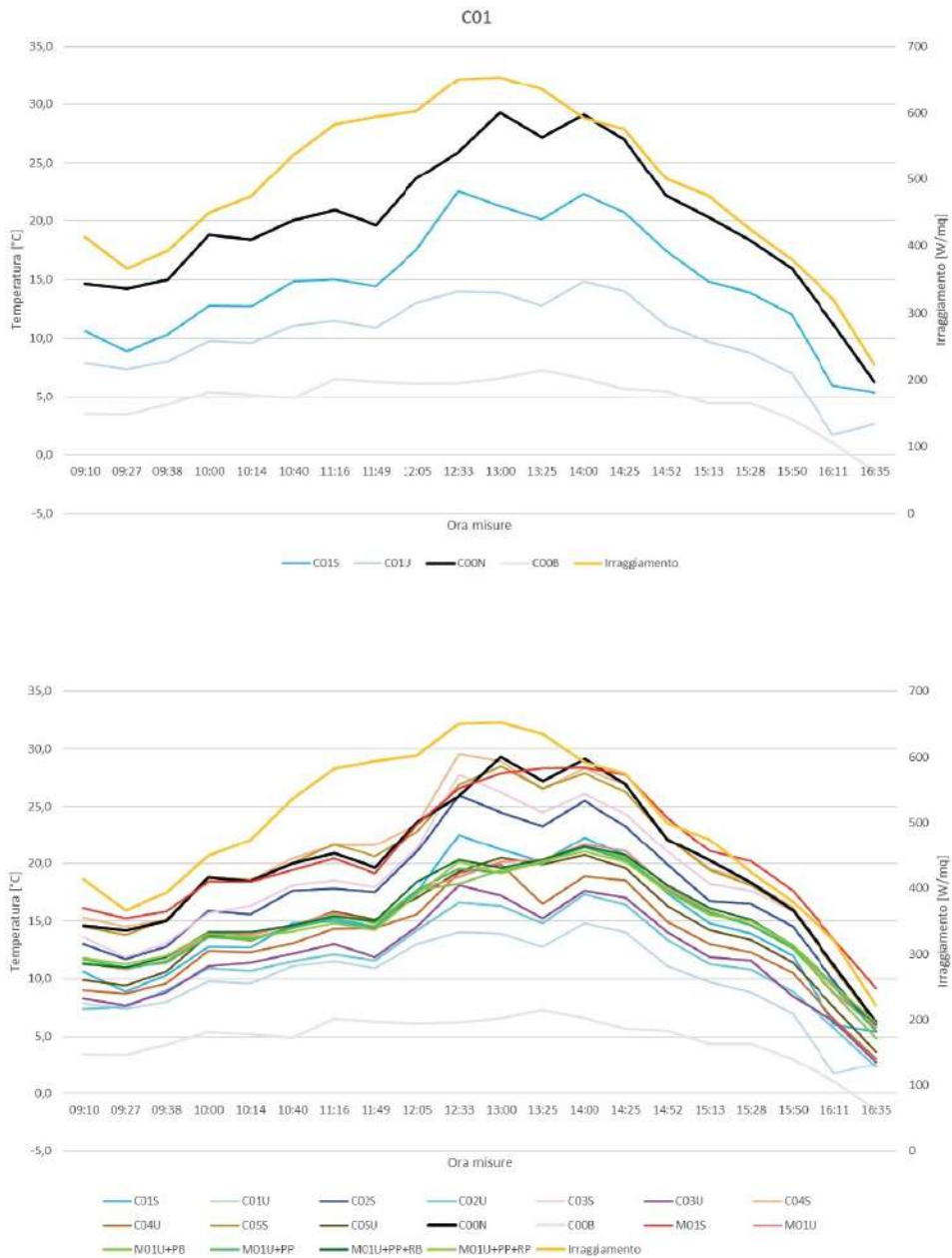


Figura 12: Andamento dell'irraggiamento e delle temperature superficiali dei campioni considerati – prima campagna 7/02/22.

Seconda campagna di misura

La seconda campagna di misura è stata realizzata il giorno 2 marzo 2022 e ha permesso di ottenere i seguenti risultati (Fig. 13).

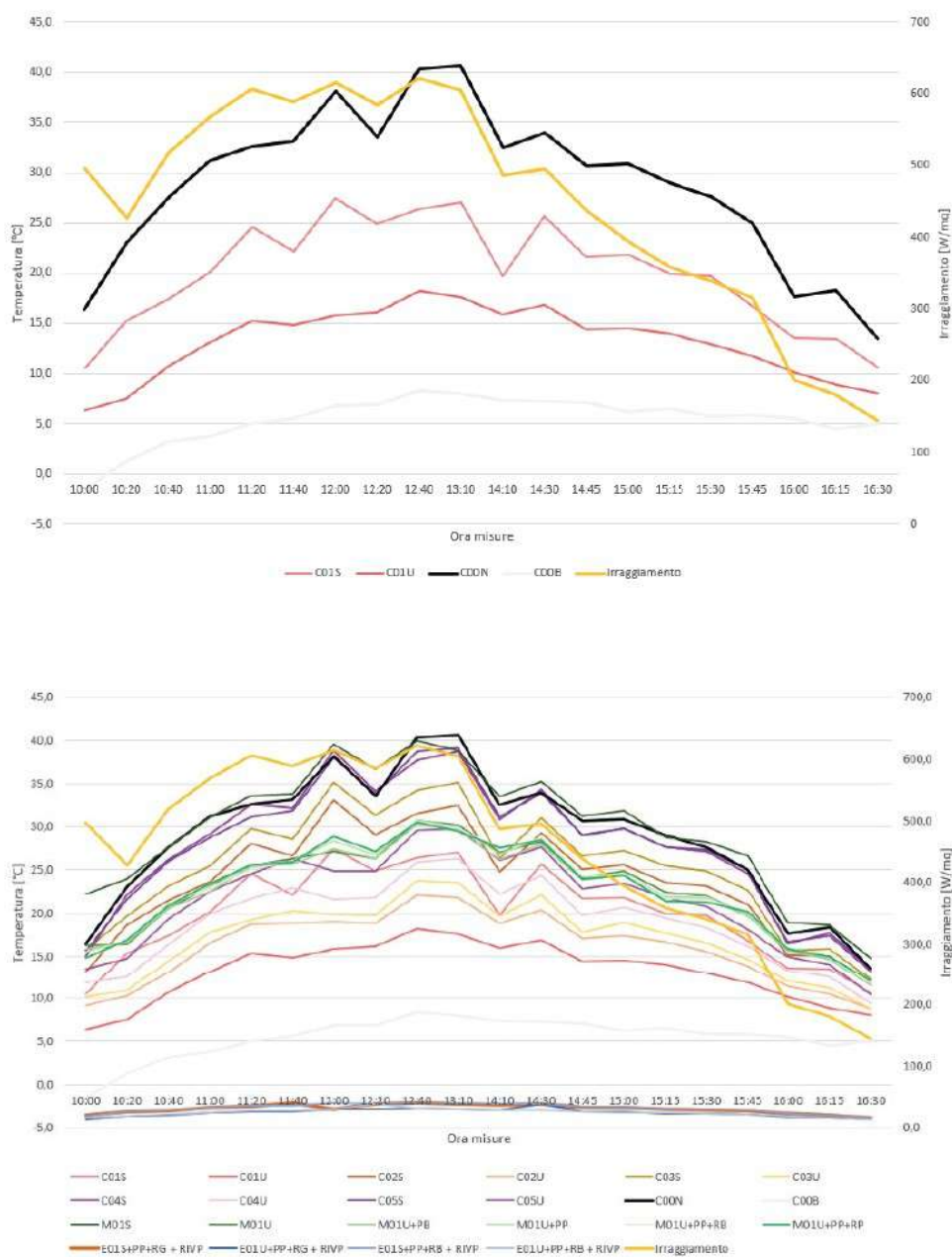


Figura 13: Andamento dell'irraggiamento e delle temperature superficiali dei campioni considerati – seconda campagna 2/03/22.

Terza campagna di misura

La terza campagna di misura è stata realizzata il giorno 5 luglio 2022 e ha permesso di ottenere i seguenti risultati (Fig 14).

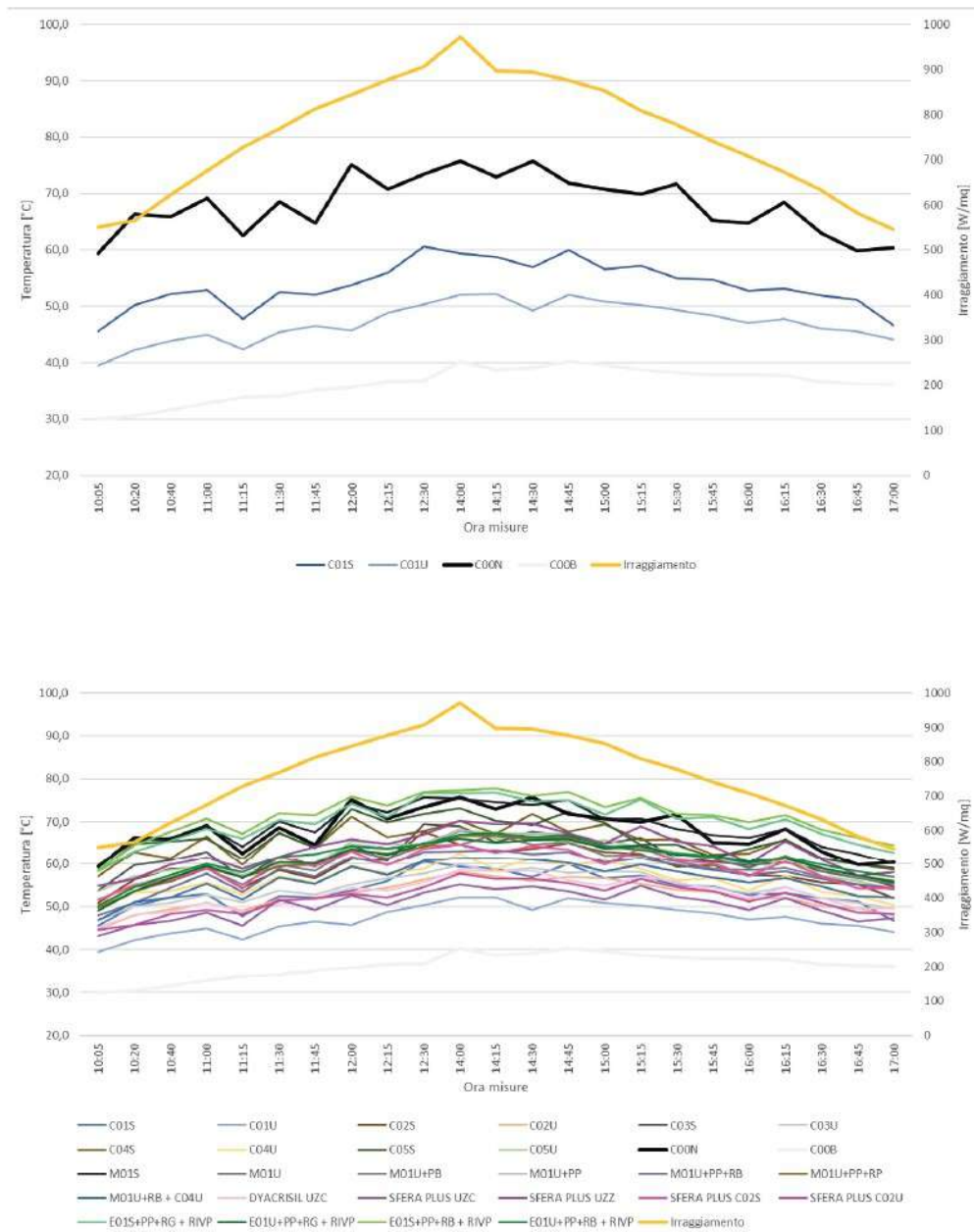


Figura 14: Andamento dell'irraggiamento e delle temperature superficiali dei campioni considerati – terza campagna 5/07/22.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati misurati è stata possibile per mezzo di un modulo avanzato dell'applicativo PAN – software della suite ANIT dedicato all'analisi termica, igrometrica e dinamica dell'involucro opaco – sviluppato secondo una serie di passaggi matematici derivati dall'equazione di trasmissione del calore per conduzione, convezione e irraggiamento.

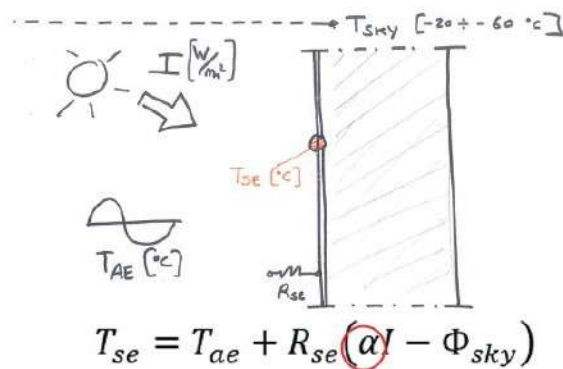


Figura 15: Parametri coinvolti nell'elaborazione dello sviluppo del modello di calcolo per valutare il parametro α .

Con il modulo avanzato è stato possibile inserire i valori misurati di:

- temperatura dell'aria esterna, irraggiamento e temperatura superficiale esterna,
- velocità media del vento,
- temperatura della calotta celeste

con i quali il software ha poi restituito un valore di assorbimento solare α che portasse a un comportamento superficiale il più vicino possibile a quello misurato in campo.

Tutte e tre le campagne hanno portato a un riscontro effettivo di un diverso comportamento rispetto alla sollecitazione delle superfici con pigmento. La riduzione del valore di assorbimento solare si è verificata compresa tra il 69 e il 78%.

Applicazione pratica

Infine, è stato simulato l'effetto che i valori di assorbimento solare calcolati avrebbero se applicati su diverse strutture in diversi climi. Sono state scelte tre strutture "di base" a seconda del diverso comportamento termico, e tre strutture isolate per evidenziare l'effetto in presenza di un materiale isolante: considerando la necessità di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, è sempre più frequente intervenire su un edificio coibentato. Di seguito l'elenco delle strutture selezionate:

- Struttura in mattoni semipieni 25 cm
- Struttura in doppio tavolato 25 cm
- Struttura in calcestruzzo armato 25 cm
- Struttura in mattoni semipieni 25 cm, isolata con EPS 10cm
- Struttura in doppio tavolato 25cm, isolata con EPS 10cm
- Struttura in calcestruzzo armato 25cm, isolata con EPS 10cm.

La scelta delle tre zone climatiche è stata presa in base alla radiazione solare globale media del mese più caldo, ossia luglio, e sono le seguenti, riportate in ordine decrescente di radiazione incidente:

- Trapani
- Milano
- Bressanone.

A seguito di questa analisi è stato valutato il risparmio energetico annesso. La riduzione della temperatura superficiale esterna, infatti, ha come primo effetto la riduzione dell'energia entrante attraverso la struttura opaca considerata. La riduzione di energia entrante comporta a sua volta il risparmio energetico estivo: meno energia entra, meno energia andrà sottratta per mantenere l'ambiente a temperatura di comfort con l'uso di impianti di climatizzazione estiva.

È stata valutata, dunque, la differenza tra l'energia entrante attraverso una struttura avente fattore di assorbimento solare dato dal pigmento UZC e l'energia entrante attraverso la stessa struttura ma senza strato di finitura con pigmento UZC: in media la riduzione è intorno al 20% per il clima della provincia di Trapani,

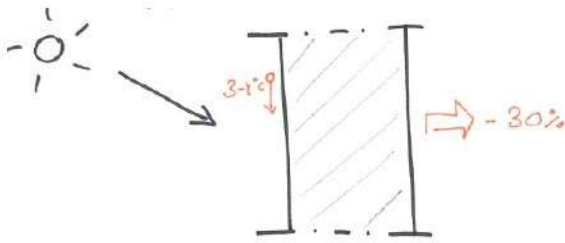


Figura 16: Immagine evocativa della riduzione percentuale dell'energia entrante conseguente all'abbassamento della temperatura superficiale su una struttura non isolata.

24% per il clima della provincia di Milano, 28% per il clima della provincia di Bolzano.

I valori di energia entrante variano in accordo con il clima (maggiore a Trapani, minore a Bolzano) e in accordo con la struttura (l'aggiunta di una resistenza termica permette da sola la riduzione dell'energia entrante dalla struttura). Tuttavia, per ogni clima e per ogni tipologia di struttura è risultato evidente che l'abbassamento del fattore di assorbimento solare ha un effetto positivo sull'energia solare entrante.

Oltre alla riduzione di energia entrante e il conseguente risparmio di energia per il servizio di climatizzazione estiva, un altro risvolto positivo dell'uso di rivestimenti con minore fattore di assorbimento solare, come anticipato nella premessa teorica, è il comfort estivo: l'impatto del colore esterno influenza la temperatura superficiale interna delle strutture. Considerando i due casi di riferimento estremi, ossia strutture con colore nero esterno e colore bianco esterno, è evidente che la temperatura superficiale interna massima è maggiore nel primo caso. Considerando invece i due campioni C01 aventi lo stesso colore nel visibile ma differente fattore di assorbimento solare, si evidenzia che per tutte le strutture e per tutti i climi il fattore di assorbimento più basso comporta minore temperatura superficiale esterna, minore flusso attraverso la struttura e dunque anche minore temperatura superficiale interna. Ciò si riflette in un maggior comfort interno durante il periodo estivo considerato. Le

differenze di temperatura superficiali teoriche che si sviluppano variano circa da 4 a 2°C a seconda del grado di isolamento della struttura. Infine, un altro effetto positivo e non trascurabile della temperatura superficiale esterna ridotta è l'effetto sulla durabilità dei materiali, in particolare dello strato di finitura (primo interessato dalla radiazione solare) e dei materiali sottostanti. Dai calcoli realizzati è stato possibile notare che un minore coefficiente di assorbimento solare consente di ottenere una temperatura superficiale fino a 6°C inferiore rispetto a un coefficiente α maggiore. **■**

* Carlotta Bersani e Gaia Piovan, Ingegneri Edili, lavorano per TEP srl e si occupano di analisi energetica degli edifici.