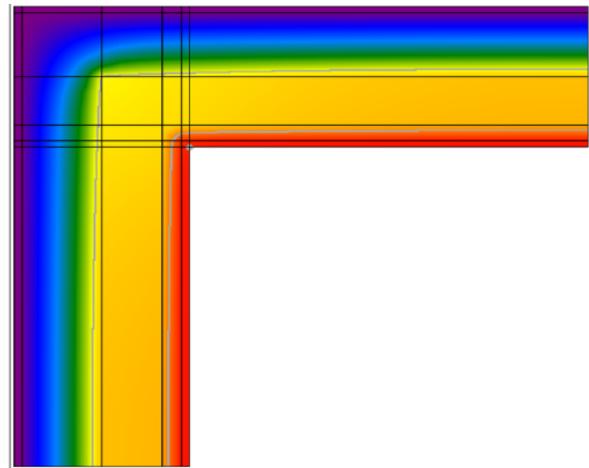
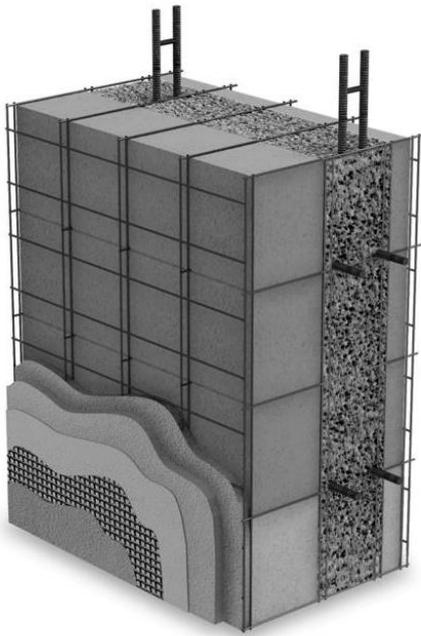




ISOLAMENTO OMOGENEO E PONTI TERMICI

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

Marzo 2017



*Tutti i diritti sono riservati.
Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di ANIT.*

I MANUALI ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **GUIDE** e **MANUALI** di chiarimento sull'efficienza energetica e l'isolamento acustico degli edifici. Gli argomenti trattati riguardano la normativa di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro.

Le **GUIDE** analizzano le leggi e le norme del settore e sono riservate ai Soci.

I **MANUALI** invece, caratterizzati da un taglio più pratico e realizzati in collaborazione con le Aziende ANIT, sono scaricabili gratuitamente dal sito www.anit.it

I vari temi sono approfonditi nei **LIBRI** della collana editoriale ANIT "L'isolamento termico e acustico".

STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante aggiornamento sulle norme in vigore con le GUIDE ANIT



I Software ANIT per calcolare tutti i parametri energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di chiarimento tecnico da parte dello Staff ANIT



La rivista specializzata Neo-Eubios

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato (Individuale, Azienda, Onorario)

I Soci Individuali possono accedere alla qualifica "**Socio Individuale Più**" per ottenere servizi avanzati

Per informazioni: www.anit.it

**MANUALE ANIT REALIZZATO
IN COLLABORAZIONE CON**



Tutti i diritti sono riservati

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

I contenuti sono curati dallo Staff ANIT e sono aggiornati alla data in copertina.

Le informazioni riportate sono da ritenersi comunque indicative ed è sempre necessario riferirsi anche a eventuali documenti ufficiali. Sul sito www.anit.it sono disponibili i testi di legge.

Si raccomanda di verificare sul sito ANIT l'eventuale presenza di versioni più aggiornate di questo documento.

INDICE

1 ISOLAMENTO DIFFUSO, OMOGENEO O CONCENTRATO	3
1.1 <i>Dispersioni termiche: teoria e formule di calcolo</i>	3
1.2 <i>Il calcolo della trasmittanza termica</i>	4
1.3 <i>Resistenza termica di materiali non omogenei</i>	4
2 DISCONTINUITA' e PONTI TERMICI	6
2.1 <i>Verifica con misure di laboratorio</i>	7
2.2 <i>Conduktività equivalente del blocco</i>	8
3 COMPORAMENTO ESTIVO	9
3.1 <i>Definizioni legate al comportamento estivo dell'involucro di un edificio</i>	9
3.2 <i>Simulazioni dinamiche con il software PAN</i>	10
4 ESEMPIO DI MISURE IN CAMPO	11
4.1 <i>Analisi termografica passiva</i>	12
4.2 <i>Analisi termografica attiva</i>	13
4.3 <i>Omogeneità di distribuzione di temperatura e ponti termici</i>	14
4.4 <i>Analisi in campo del comportamento estivo</i>	14
5 Conclusioni	18
6 CONTATTI	19
7 BIBLIOGRAFIA	19

PREMESSA

L'influenza dei ponti termici sull'isolamento degli edifici diventa sempre più importante. Con il diminuire della trasmittanza termica delle strutture, agire isolando correttamente il ponte termico è fondamentale.

Le soluzioni tecnologiche in grado di ridurre al minimo questa influenza sono vincenti e semplificano la gestione e l'analisi dell'involucro da parte dei professionisti oltre che la fase esecutiva e realizzativa dell'isolamento termico dell'opera. Inoltre la nuova legislazione ha posto l'attenzione anche sul comportamento estivo dell'involucro perché considerato fondamentale per il comfort dell'abitato, il sistema scelto quindi deve coniugare prestazioni termiche invernali ed estive senza dimenticare i rischi legati ai fenomeni igrometrici.

Il presente manuale va ad arricchire il numero di documenti tecnici che ANIT rende disponibili al mondo professionale, è realizzato in collaborazione con l'azienda associata Ecosism, e affronta il tema dell'isolamento termico con sistemi costruttivi con cassero a rimanere, dove il cassero è realizzato in materiale isolante e la struttura portante è in cemento armato. Questo tipo di soluzione è efficace nella correzione dei Ponti Termici e facilmente utilizzabile con spessori importanti di isolante di diverse tipologie.

La peculiarità di questo sistema è la presenza della rete porta intonaco, parte della struttura metallica che tiene insieme il cassero, che però mette necessariamente in comunicazione la superficie esterna con la superficie interna, comportando un aumento localizzato del flusso termico.

Il presente documento mostra come affrontare il tema della diffusione del calore, in più direzioni di flusso, in elementi non omogenei, ricorrendo alla modellazione agli elementi finiti in tre dimensioni e con la validazione del modello di calcolo con prove di laboratorio, al fine di evidenziare l'ottimo comportamento invernale ed estivo e l'assenza di influenza puntuale della struttura metallica sulla temperatura superficiale.

Rilievi in campo aiutano poi a "vedere" i risultati nei cantieri.

Gran parte delle valutazioni analitiche riportate in questo manuale, sono state eseguite utilizzando i software [PAN](#) e [IRIS](#), forniti ai Soci ANIT.

Ci auguriamo con questo lavoro di contribuire alla formazione e all'informazione del mondo professionale!

Buona lettura,
ANIT

1 ISOLAMENTO DIFFUSO, OMOGENEO O CONCENTRATO

1.1 Dispersioni termiche: teoria e formule di calcolo

L'energia dispersa attraverso l'involucro di un edificio, nella realtà, dipende da un mix complicato di scambi termici e meccanismi di trasmissione del calore, che interagiscono e si sovrappongono uno con l'altro.

Concentrando l'attenzione sulle sole perdite per trasmissione $Q_{H,tr}$ e semplificando la trattazione, si trova che:

$$Q_{H,tr} = \sum_i (U_i \cdot A_i) \cdot \Delta T \cdot t$$

dove:

U_i è la trasmittanza termica dell' i -esimo componente dell'involucro calcolata in accordo con la norma UNI EN 6946 per gli elementi opachi e la norma UNI EN ISO 10077-1 per gli elementi trasparenti, espressa in W/m^2K ;

A_i è la superficie lorda disperdente del componente con trasmittanza U_i in m^2 ;

ΔT è la differenza tra temperatura media mensile dell'ambiente esterno e la temperatura interna della zona riscaldata misurata in $^{\circ}C$;

t è la durata del periodo di riscaldamento in s.

Limitare i consumi energetici, in prima battuta, significa progettare e governare le dispersioni dell'involucro attraverso il controllo delle infiltrazioni, la correzione dei ponti termici, lo studio dei trattamenti superficiali e soprattutto un **buon isolamento termico**.

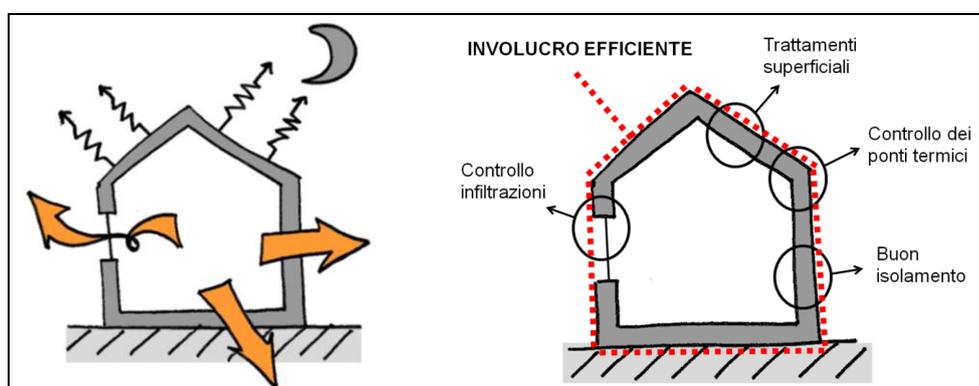


Figura 1.1 - Scambi conduttivi, convettivi e radiativi che interessano l'involucro

Secondo la formula precedente, le dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro di un edificio dipendono dalla trasmittanza termica di ogni struttura, dall'ampiezza in m^2 delle strutture stesse, dal salto termico fra interno ed esterno e dalla durata temporale considerata nei calcoli.

Di questi parametri due sono standardizzati: il salto termico è pari alla differenza mese dopo mese fra la temperatura interna (fissata a $20^{\circ}C$) e la temperatura media mensile esterna (normata dalla UNI 10349), e il periodo di riscaldamento è stabilito convenzionalmente dal DPR 412/93. Mentre l'area e la trasmittanza dipendono dalle soluzioni pensate dal progettista.

1.2 Il calcolo della trasmittanza termica

Ogni struttura opaca che delimita la zona riscaldata (ovvero la zona termica) è caratterizzata dal valore di trasmittanza termica stazionaria U [W/m^2K].

La trasmittanza termica U è definita dall'inverso della somma delle resistenze termiche degli strati e delle intercapedini che costituiscono la struttura:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_n + R_a + R_{se}}$$

dove:

R_{si} è la resistenza termica superficiale interna in m^2K/W ;

d/λ è la resistenza termica di uno strato di materiale omogeneo in m^2K/W in cui s è lo spessore dello strato misurato in metri e λ è la conduttività termica utile del materiale in W/mK ;

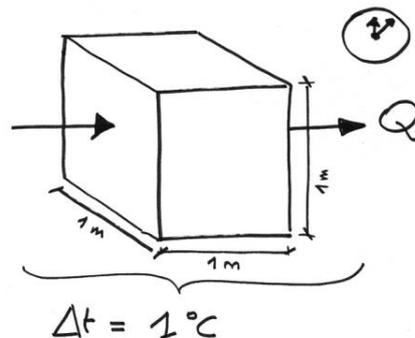
R_n è la resistenza termica di uno strato non omogeneo in m^2K/W ;

R_a è la resistenza termica di una intercapedine d'aria in m^2K/W ;

R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna in m^2K/W .

1.3 Resistenza termica di materiali non omogenei

In generale la caratteristica che esprime il comportamento di un materiale omogeneo rispetto al flusso di calore è la conduttività termica, definita come: "il flusso di calore che in condizioni di regime stazionario attraversa la superficie di $1 m^2$ di un cubo di materiale omogeneo avente lo spessore di $1 m$, e con differenza di temperatura tra le due facce opposte parallele di $1^\circ C$ ".



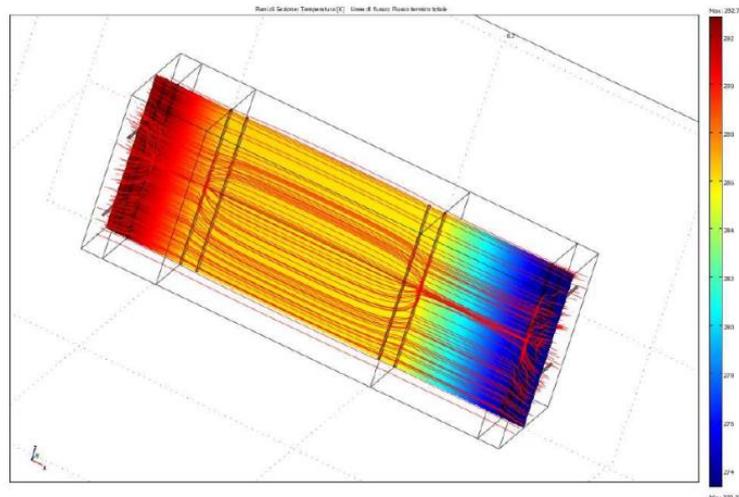
In altre parole questo parametro misura l'attitudine di un materiale a lasciarsi attraversare dal calore, quindi materiali con un alto valore di conduttività sono "buoni" conduttori, mentre quelli con un basso valore di conduttività sono "cattivi" conduttori, ovvero isolanti.

La conduttività si indica con il simbolo λ (lambda).

Per i prodotti macroscopicamente eterogenei e anisotropi, come nel caso del sistema Ecosism, non è però corretto definire la conduttività come caratteristica che identifica la loro capacità isolante, ma occorre riferirsi direttamente alla resistenza termica $R(m^2K/W)$. Questa resistenza, proprio per la natura non omogenea dell'elemento, deve essere calcolata ad elementi finiti, utilizzando cioè un metodo di calcolo che riesca a tenere conto della non omogenea distribuzione delle temperature. Questo metodo permette di avere informazioni sul campo delle temperature e dei flussi termici all'interno dell'elemento, e di calcolarne così le caratteristiche isolanti.

Tra questi prodotti troviamo ad esempio elementi in laterizio, blocchi da costruzione alleggeriti, predalles, pannelli prefabbricati, blocchi cassero ecc.

Nell'immagine sotto riportata, relativa all'analisi energetica di una sezione di parete costruita con pareti cassero, è evidente che il sistema non è caratterizzato da un valore della conduttività unico a cui corrisponderebbe una distribuzione uniforme del flusso di energetico e di temperatura.



La norma UNI 10355 è una banca dati che contiene un repertorio di valori di resistenza termica dei materiali da costruzione maggiormente impiegati. Secondo le norme occorre riferirsi alla resistenza termica calcolata ad elementi finiti anche per i prodotti omogenei sagomati come, ad esempio, i pannelli sagomati sottotegola o i pannelli per isolamento degli impianti di riscaldamento radianti.

La resistenza termica di alcune strutture realizzate con particolari sistemi costruttivi deve essere calcolata ad hoc.

È il caso appunto dei sistemi costruttivi a cassero realizzati in materiale isolante o con materiale isolante reinserito, all'interno dei quali viene gettato il calcestruzzo che costituisce la parete.

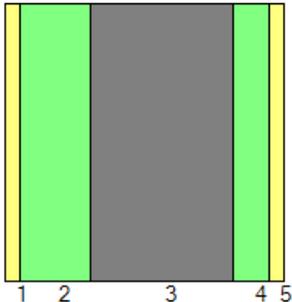
La disomogeneità della struttura, composta da materiali diversi con elementi anche nella direzione dello spessore della parete, fa sì che non si possa approssimarne la forma con un modello a facce piane e parallele, ma che il valore di resistenza sia ricavato da una modellazione agli elementi finiti.

Nel caso di sistemi costruttivi con casseri a facce piane e parallele con interposto uno strato omogeneo il calcolo agli elementi finiti è utilizzato per la determinazione dei ponti termici intrinseci del sistema come ad esempio eventuali fissaggi passanti.

2 DISCONTINUITA' e PONTI TERMICI

Il metodo costruttivo Ecosism con cassero a rimanere, prevede l'impiego di importanti spessori di materiale isolante di differente tipologia, individuati in base alla conduttività e all'obiettivo da raggiungere. Il sistema analizzato in questo manuale è caratterizzato dalla presenza di una maglia metallica che tiene insieme il cassero, funge da porta intonaco e da trama centrale per il corretto posizionamento dell'armatura. I materiali isolanti vengono inseriti nella maglia di 2,2 mm di diametro, ne conseguono sottili fessurazioni uniformemente distribuite sul pannello. Il calcolo della resistenza termica, come visto precedentemente, per stratigrafie con materiali omogenei, si eseguirebbe a partire dalla conduttività termica dei diversi strati, come mostrato nella simulazione seguente, con l'ausilio del [software PAN](#), nella quale viene trascurata, per il momento, la presenza della maglia metallica, valutata poi con una simulazione agli elementi finiti tridimensionale.

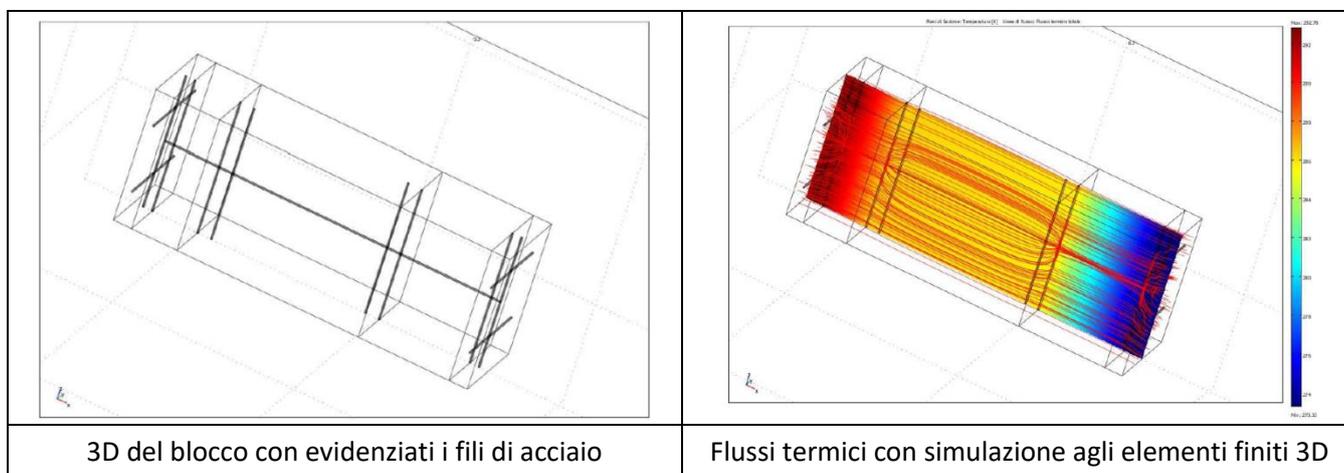
Blocco in esame: 2+10+20+5+2

	Intonaco esterno	$\lambda=1 \text{ W/mK}$	S=2cm
	Isolante	$\lambda_D=0,034 \text{ W/mK}$	S=10cm
	Cls	$\lambda=2 \text{ W/mK}$	S=20cm
	Isolante	$\lambda_D=0,034 \text{ W/mK}$	S=5cm
	Intonaco interno	$\lambda=1 \text{ W/mK}$	S=2cm
Resistenza totale $R=4.72 \text{ m}^2\text{K/W}$			
Trasmittanza termica $U=0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$			

Come premesso però, nel calcolo sopra, è trascurato il contributo della maglia di acciaio da 2,2 mm di diametro alla trasmittanza totale. Tale contributo è valutabile previsionalmente attraverso una simulazione agli elementi finiti in 3D. La valutazione della trasmittanza, che tenga conto dell'influenza della maglia metallica, è stata quindi verificata con misure in laboratorio verificando i risultati di calcolo.

Nell'esempio, Ecosism, ha reso disponibili i documenti di calcolo e i risultati delle misure in laboratorio in suo possesso per mostrare come si procede alla definizione delle caratteristiche di isolamento termico di un blocco eterogeneo.

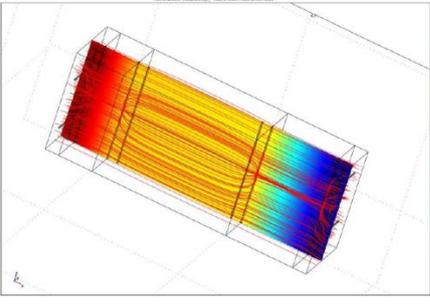
Il modulo base è illustrato nell'immagine seguente. Sono visibili la maglia metallica porta intonaco interna ed esterna, la trama centrale per l'armatura e il filo d'acciaio passante trasversalmente alla sezione che tiene insieme il "cassero". E' stata valutata una porzione modulare.



Il calcolo agli elementi finiti tridimensionali ha come risultato della simulazione la distribuzione delle temperature e del flusso all'interno del blocco.

L'analisi deve tener conto sia delle saldature nei punti di contatto tra i diversi fili di acciaio che formano la maglia, sia della limitata fessura che si viene a creare tra i pannelli di materiale isolante inseriti appunto nella maglia stessa.

Dati e risultati della simulazione:

	Filo d'acciaio diametro 2,2 mm	Diametro 2,2 mm
		$\lambda=54 \text{ W/mK}$
	Fessura d'aria tra gli isolanti	Spessore massimo 2,2 mm
		Contributo trascurabile
Resistenza totale $R=3.802 \text{ m}^2\text{K/W}$		
Trasmittanza termica $U=0.263 \text{ W/m}^2\text{K}$		

I risultati della simulazione che tiene conto della presenza della maglia metallica evidenziano, in questo blocco, un peggioramento della resistenza termica di circa il 20% rispetto a quella calcolata senza tener conto della maglia. Il risultato sopra è confermato dalla prova di laboratorio dello stesso blocco.

2.1 Verifica con misure di laboratorio

Un passaggio importante, nello studio della resistenza termica, è verificare che il calcolo agli elementi finiti sia rappresentativo del comportamento in opera della struttura. Viene quindi effettuata una misura di laboratorio che conferma la validità della simulazione agli elementi finiti.

Dati e risultati della simulazione per il blocco denominato 10+5NES37:

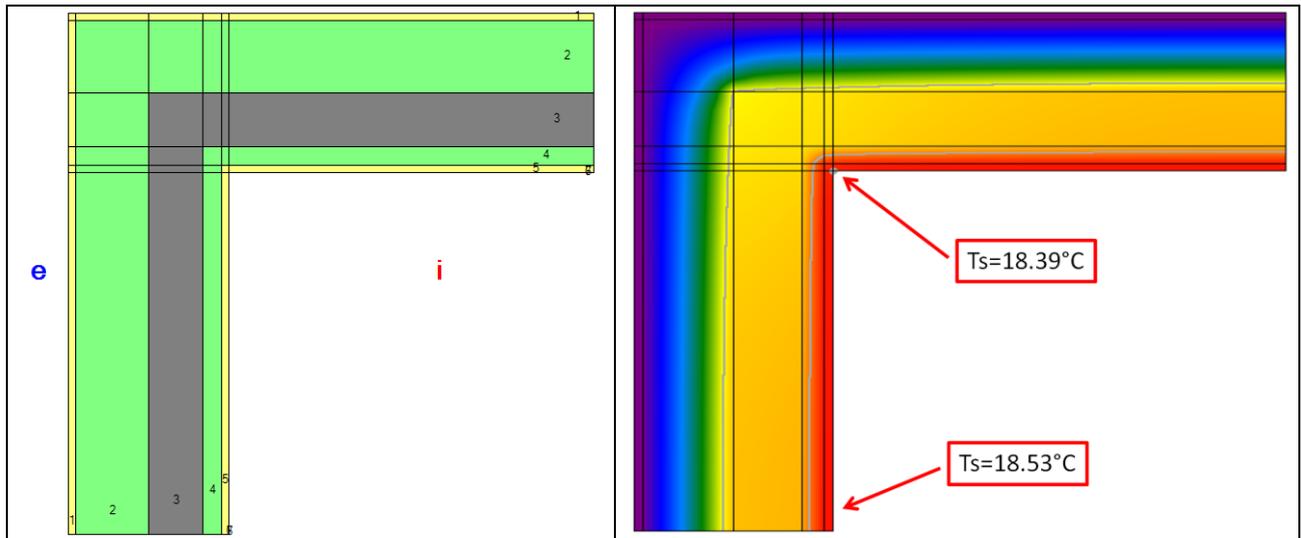
	
Resistenza totale $R=3.817 \text{ m}^2\text{K/W}$	
Trasmittanza termica $U=0.262 \text{ W/m}^2\text{K}$	
Fonte: Rapporto di prova dell'Istituto Giordano n. 274993	

La prova è eseguita secondo la norma UNI EN ISO 8990:1999 con il metodo della doppia camera calibrata.

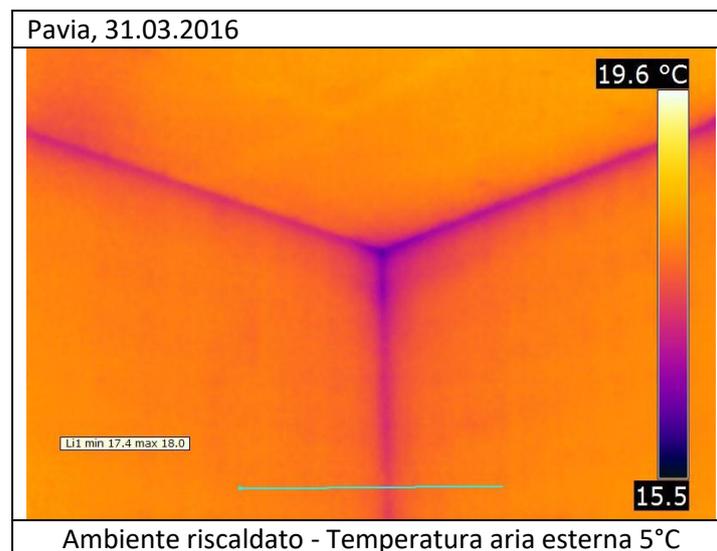
2.2 Conduttività equivalente del blocco

Per meglio capire cosa comporta la presenza della maglia metallica si è proceduto ricavando un valore di conduttività equivalente del materiale isolante che tenga conto della presenza del filo metallico. Oltre ad una migliore comprensione, questa estrapolazione consente di affrontare più agevolmente alcuni aspetti legati alla progettazione: ad esempio l'analisi dei ponti termici bidimensionali del blocco.

Le immagini seguenti mostrano una simulazione con il [software IRIS](#) di analisi del Ponte Termico geometrico d'angolo realizzato con il sistema Ecosism prendendo come riferimento una stratigrafia tipo 2INT+20EPS+15CLS+5EPS+2INT.



L'analisi, eseguita utilizzando la conduttività equivalente, mostra un comportamento omogeneo con differenze di temperatura superficiale ridotte. Su questo tipo di stratigrafia sono state svolte delle indagini termografiche presso un edificio in provincia di Pavia, immagine seguente.



Dalla termografia sopra è possibile apprezzare un comportamento analogo a quello simulato, con differenze di temperatura reali di circa 0,6°C a dimostrazione della validità del sistema nella correzione dei ponti termici.

3 COMPORTAMENTO ESTIVO

3.1 Definizioni legate al comportamento estivo dell'involucro di un edificio

L'evoluzione normativa impone ai progettisti la conoscenza di parametri caratterizzanti il comportamento estivo dei singoli elementi costruttivi. Questi parametri descrivono la reazione di un elemento edilizio ad una sollecitazione termica variabile nel tempo, come può essere quella dovuta all'effetto della temperatura dell'aria e del soleggiamento su una parete in estate. Di seguito sono definite le principali grandezze che caratterizzano il comportamento estivo dell'involucro opaco di un edificio.

La trasmittanza termica periodica Y_{ie}

La definizione passa attraverso il concetto di ammettenza, definita dalla norma UNI EN ISO 13786 come:

“quantità complessa definita come l'ampiezza complessa della densità di flusso termico attraverso la superficie del componente adiacente alla zona m, diviso per l'ampiezza complessa della temperatura nella zona n. Il flusso termico è definito positivo quando è diretto verso la superficie del componente”.

Nel caso in cui la zona m sia l'ambiente esterno e la zona n quello interno dell'edificio l'ammettenza prende il nome di trasmittanza termica periodica Y_{ie} (periodic thermal transmittance) dove il pedice “ie” sta per “interno-esterno”.

In altre parole la trasmittanza termica periodica mette in relazione la variazione del flusso termico sulla superficie esterna del componente edilizio con la conseguente variazione di temperatura sul lato interno dello stesso. Si capisce quindi che, dal punto di vista estivo, il comportamento di una parete sarà tanto migliore quanto minore è la sua trasmittanza termica periodica. La trasmittanza termica periodica è espressa in W/m^2K .

Lo sfasamento dell'onda termica φ

Lo sfasamento dell'onda termica φ (time shift) è definito come: “periodo di tempo tra l'ampiezza massima di una causa e la massima ampiezza dei suoi effetti”.

In generale si assume come causa la variazione di temperatura superficiale sul lato esterno del componente edilizio e come effetto la conseguente variazione sul lato interno. Lo sfasamento rappresenta quindi il tempo, misurato in ore, che intercorre tra il picco di temperatura sul lato esterno e quello sul lato interno.

Il fattore di attenuazione f_a

Il fattore di attenuazione f_a (decrement factor) è definito dalla norma come: “rapporto tra la trasmittanza termica periodica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie, U ”. Il fattore di attenuazione rappresenta la diminuzione d'ampiezza che subisce un'onda termica nel passare attraverso il componente edilizio in esame. Essendo il rapporto tra due grandezze (Y_{ie} ed U) entrambe misurate in W/m^2K , il fattore di attenuazione è un numero adimensionale.

È utile fare un confronto tra i parametri che descrivono il comportamento invernale e quello estivo, evidenziando quali sono le grandezze che ne influenzano le prestazioni.

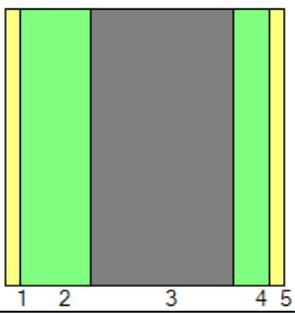
	Trasmittanza termica stazionaria U	Trasmittanza termica periodica Y_{ie} Fattore di attenuazione f_a Sfasamento dell'onda termica φ
Grandezze dei materiali che ne influenzano il comportamento	Spessore s Conduttività λ	Spessore s Conduttività λ Calore specifico c Densità ρ

Si noti come il comportamento estivo sia dipendente anche dal calore specifico e dalla densità del sistema, ovvero dalla sua capacità termica.

3.2 Simulazioni dinamiche con il software PAN

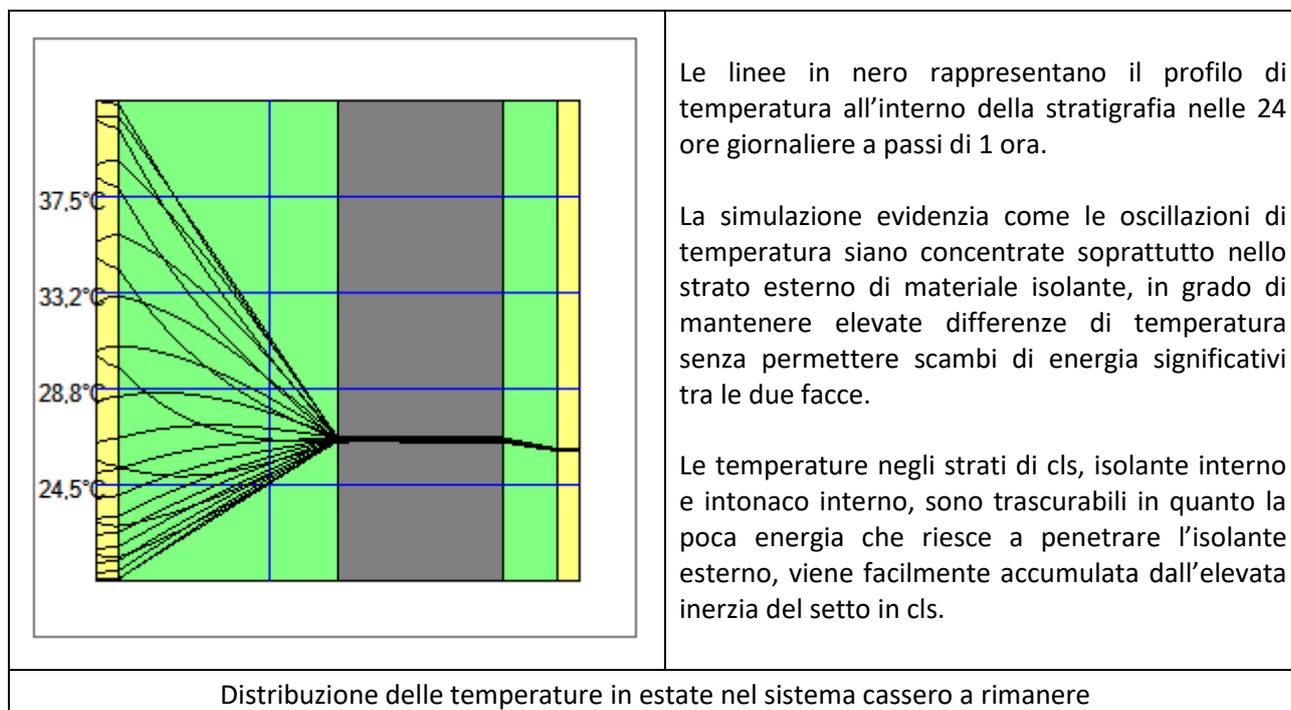
Per meglio comprendere il comportamento estivo del sistema cassero a rimanere in esame, considerando che i parametri sopra non risultano essere di immediata comprensione, come invece nel caso del regime stazionario invernale, in questo paragrafo è analizzato il sistema attraverso la modellazione all'interno del [software PAN](#), in grado di eseguire simulazioni dinamiche estive e rappresentarne graficamente il comportamento.

La stratigrafia impiegata è la seguente e rappresenta la stessa tipologia sulla quale è stato possibile eseguire misure in campo (esposte nei prossimi capitoli).

Stratigrafia modellata nel software			
	Intonaco esterno	$\lambda=1 \text{ W/mK}$	$S=2\text{cm}$
	EPS	$\lambda_D=0,034 \text{ W/mK}$	$S=20\text{cm}$
	Cls	$\lambda=2 \text{ W/mK}$	$S=15\text{cm}$
	EPS	$\lambda_D=0,034 \text{ W/mK}$	$S=5\text{cm}$
	Intonaco interno	$\lambda=1 \text{ W/mK}$	$S=2\text{cm}$
Trasmittanza termica periodica da scheda tecnica $Y_{ie}=0.007 \text{ W/m}^2\text{K}$ Fattore di attenuazione $f\alpha=0.041$ Sfasamento dell'onda termica $\varphi=10 \text{ h}$			

È stato eseguito il calcolo della distribuzione delle temperature e dei flussi all'interno della stratigrafia, a fronte di una sollecitazione termica che ha tenuto conto dell'orientamento della parete a Sud e del fattore di assorbimento solare della finitura esterna considerato pari a 0,3 (colore chiaro).

La temperatura interna dell'aria fissata a 26°C. La distribuzione di temperature è stata calcolata su un ciclo di 24 ore. L'immagine seguente mostra i risultati delle simulazioni.



4 ESEMPIO DI MISURE IN CAMPO

In questo capitolo sarà possibile apprezzare il comportamento simulato analiticamente, direttamente in opera, attraverso la presentazione di misure termoflussimetriche in periodo invernale (regime stazionario) ed estivo (regime dinamico). Le analisi sul campo hanno quindi lo scopo di supportare la teoria che regola le prestazioni del sistema. Le immagini seguenti mostrano le indagini strumentali in un cantiere in provincia di Pavia.



Sistema durante la posa in cantiere

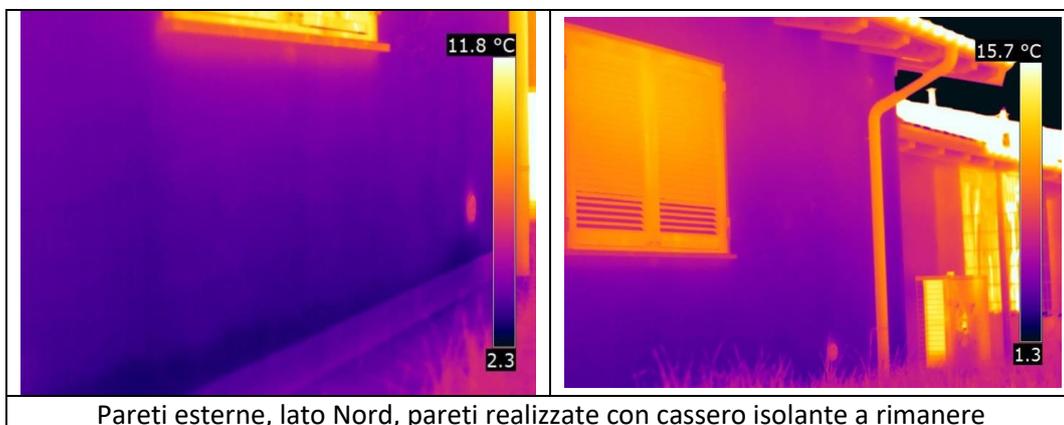
Edifici oggetto di indagine – villette a schiera

La stratigrafia seguente fa riferimento agli edifici già conclusi oggetto d'indagine, le immagini sopra mostrano invece la stratigrafia utilizzata per ulteriori edifici, nello stesso lotto, attualmente in costruzione.

Stratigrafia impiegata edifici oggetto d'indagine			
	Intonaco esterno	$\lambda=1 \text{ W/mK}$	S=2cm
	EPS	$\lambda_D=0,034 \text{ W/mK}$	S=20cm
	Cls	$\lambda=2 \text{ W/mK}$	S=15cm
	EPS	$\lambda_D=0,034 \text{ W/mK}$	S=5cm
	Intonaco interno	$\lambda=1 \text{ W/mK}$	S=2cm
Resistenza totale effettiva $R=5.899 \text{ m}^2\text{K/W}$			
Trasmittanza termica $U=0.165 \text{ W/m}^2\text{K}$			

4.1 Analisi termografica passiva

Le termografie, eseguite nel mese di marzo 2016 con temperatura esterna dell'aria di circa 5°C, indagano l'omogeneità dell'isolamento termico ovvero l'assenza di ponti termici localizzati (pilastri, nodo serramento, spigoli) e diffusi (maglia metallica). La serie di termogrammi seguente mostra il comportamento in regime stazionario ovvero in condizioni di termografia passiva al mattino su pareti a nord, non irradiate dal sole.

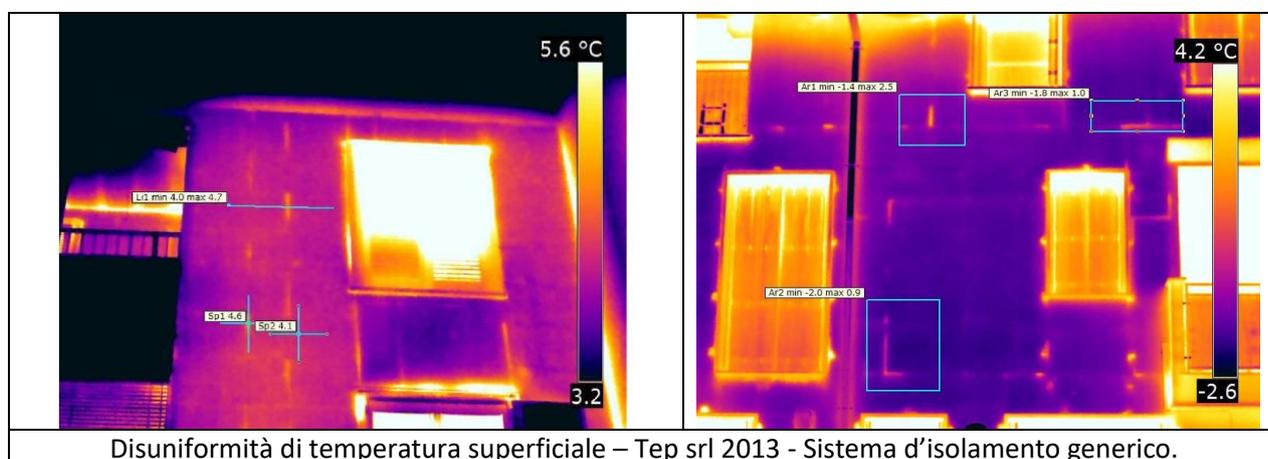


Le immagini mostrano sulle pareti a nord una situazione di uniformità di temperatura superficiale, che si traduce in omogeneità di isolamento termico.

<p>La maglia metallica del sistema non comporta ponti termici diffusi rilevabili e il sistema costruttivo favorisce la correzione dei ponti termici localizzati della struttura.</p> <p>È possibile quantificare l'omogeneità dell'isolamento studiando la variazione massima di temperatura su una porzione di parete.</p>	
<p style="text-align: center;">L'immagine mostra omogeneità di temperatura sulla parete esterna L'area evidenziata quantifica le oscillazioni di temperatura contenute in 1.4 °C</p>	

Cosa vedremmo se ci fossero delle disomogeneità?

A titolo esemplificativo si riportano due termogrammi che evidenziano una situazione di isolamento termico dall'esterno non uniforme con evidenti ponti termici puntuali e lineari.

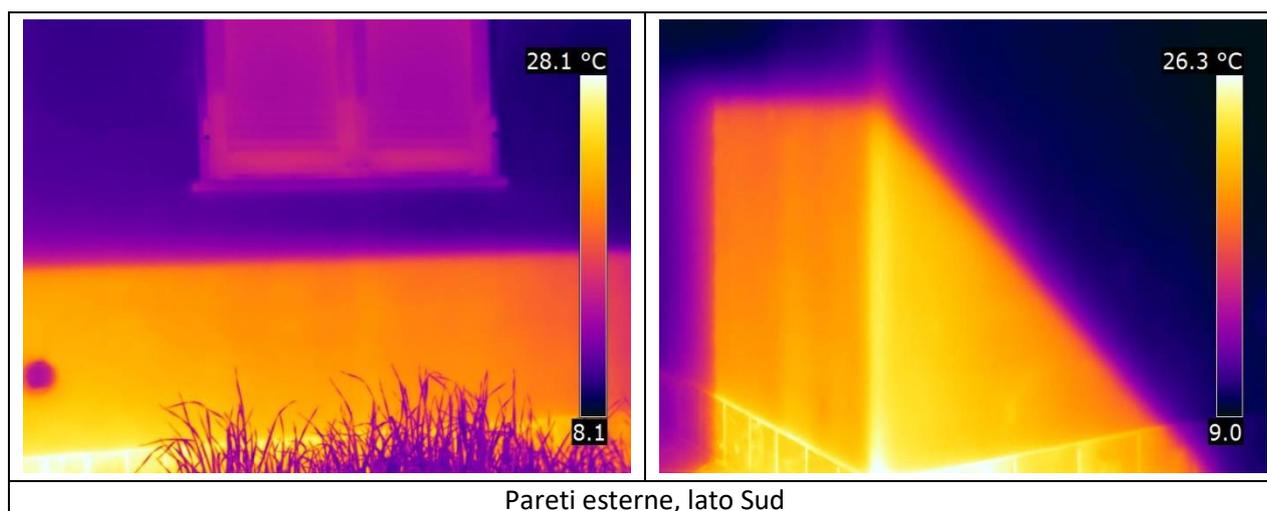


Caratteristiche macchina termografica utilizzata:

IR resolution [pixels]	FOV	Ifov [mrad]	NETD [mK]	Image Frequency [Hz]	Accuracy [°C]
640x480	25°x19°	0,68	< 40	30	±2

4.2 Analisi termografica attiva

Per indagare in modo più efficace la presenza di difetti nell'isolamento termico è possibile ricorrere alla termografia attiva, ovvero catturare delle immagini che mostrano la parete in caricamento appena irradiata dal sole. Il diverso comportamento dei materiali, EPS, CLS, acciaio, in relazione alla loro effusività termica "b", comporta tempi diversi nella variazione di temperatura quando investiti da una fonte di calore improvvisa come l'irraggiamento solare.



L'uniformità di temperatura della porzione di parete irradiata, conferma l'omogeneità dell'isolamento termico della soluzione.

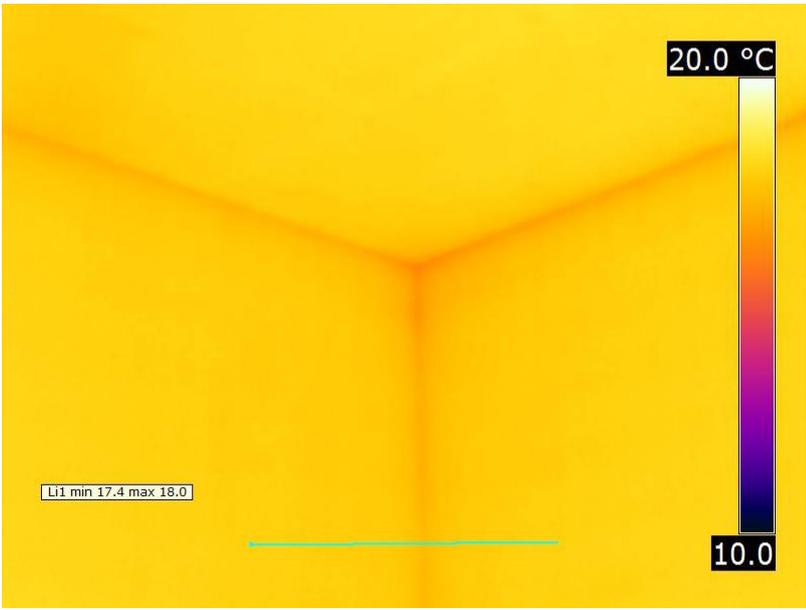
Cosa vedremmo se ci fossero delle disomogeneità superficiali?

Sempre a titolo di esempio, l'immagine seguente mostra una termografia attiva in cui è possibile vedere la texture della parete in assenza di isolamento omogeneo su un edificio esistente non isolato.



4.3 Omogeneità di distribuzione di temperatura e ponti termici

Per quanto riguarda i ponti termici, ai capitoli precedenti, è stato analizzato l'andamento delle temperature superficiali del sistema cassero isolante a rimanere, confrontando i risultati teorici con la termografia in campo. Di seguito invece viene confrontata la termografia in campo che studia il PT geometrico d'angolo, dall'interno, con un'altra termografia realizzata su un caso di edificio senza isolamento in cui è evidente l'influenza del ponte termico, con differenze di temperatura dell'ordine di 3° C.

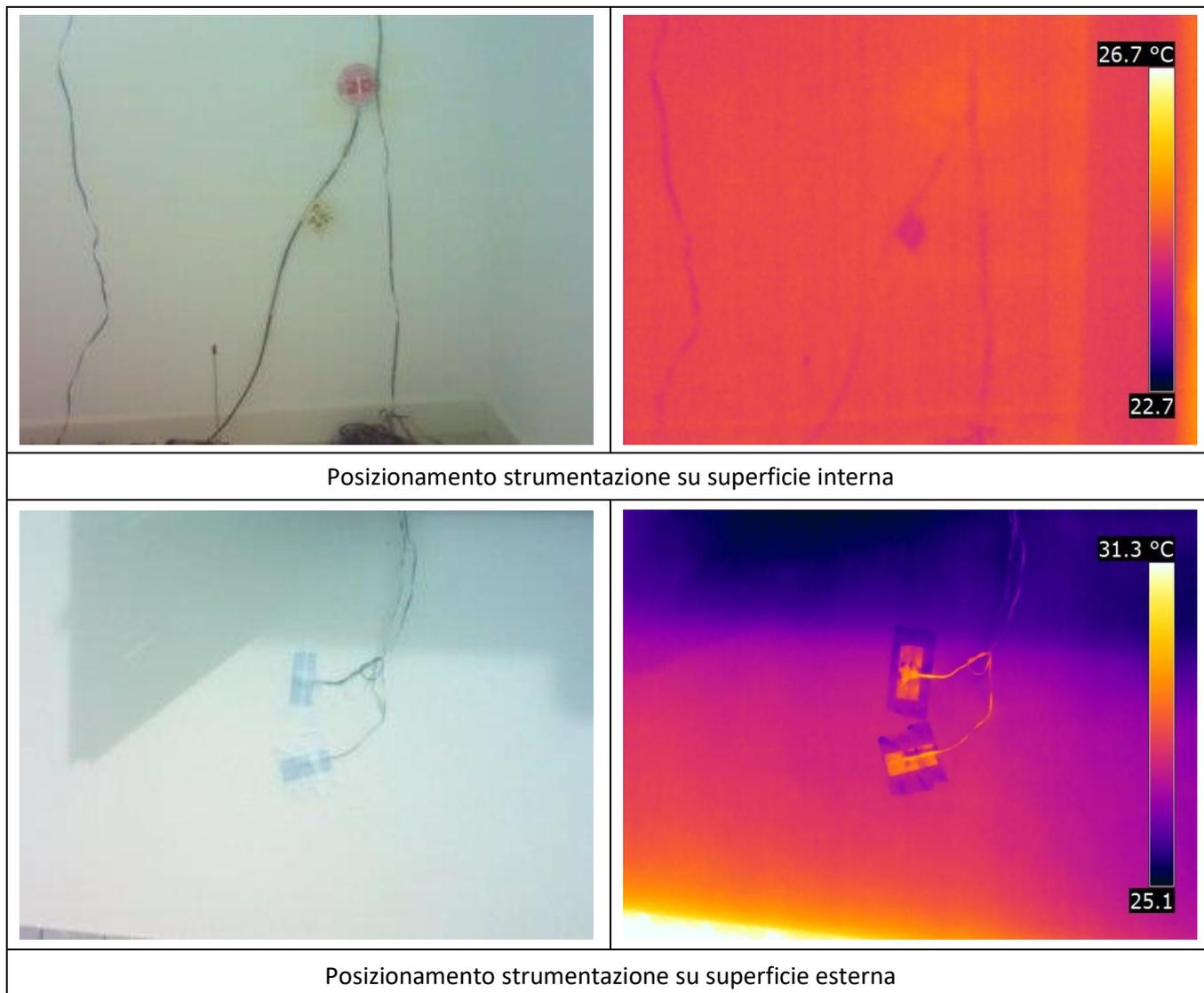
Termogramma	Delta T massimo
	<p>Caso studio, sistema cassero isolante a rimanere</p> <p>Delta T ponte termico geometrico 0.6° C</p>
	<p>Fonte TEP srl 2015</p> <p>Parete non isolata</p> <p>Delta T ponte termico geometrico 2.8° C</p>

4.4 Analisi in campo del comportamento estivo

Le misure seguenti, condotte sugli strati superficiali della stratigrafia, mostrano in modo sufficientemente chiaro il comportamento estivo di questo sistema, andando a evidenziare l'andamento nel tempo delle temperature superficiali interne ed esterne nonché il flusso termico che attraversa lo strato superficiale interno della parete.

Nel dettaglio si è proceduto attraverso una misura in opera di flusso termico e temperature superficiali, della durata di 6 giorni in periodo estivo, su parete esposta a Sud. La misura è stata condotta nel mese di settembre con temperature dell'aria esterna oscillanti tra 15°C e 31°C e con impianto di climatizzazione ambiente impostato a 24°C (temperature interne oscillanti tra 21°C e 24 °C). La parete scelta è appositamente esposta a Sud e per tutta la durata della misura ha subito ciclicamente l'irraggiamento diretto del sole.

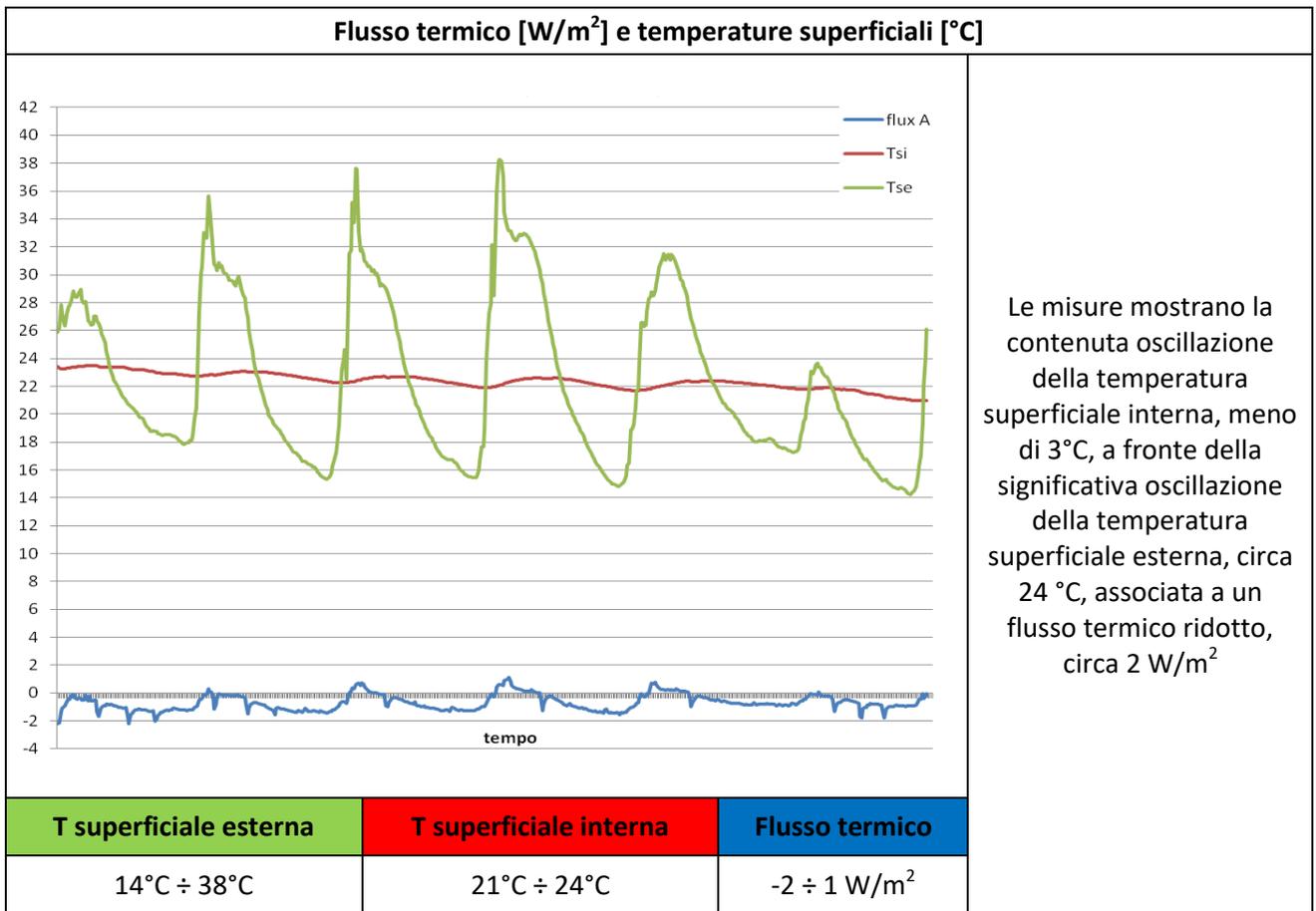
Le immagini seguenti mostrano la posizione della piastra flussimetrica e delle termocoppie, con relativi termogrammi, allo scopo di confermare l'assenza di discontinuità.



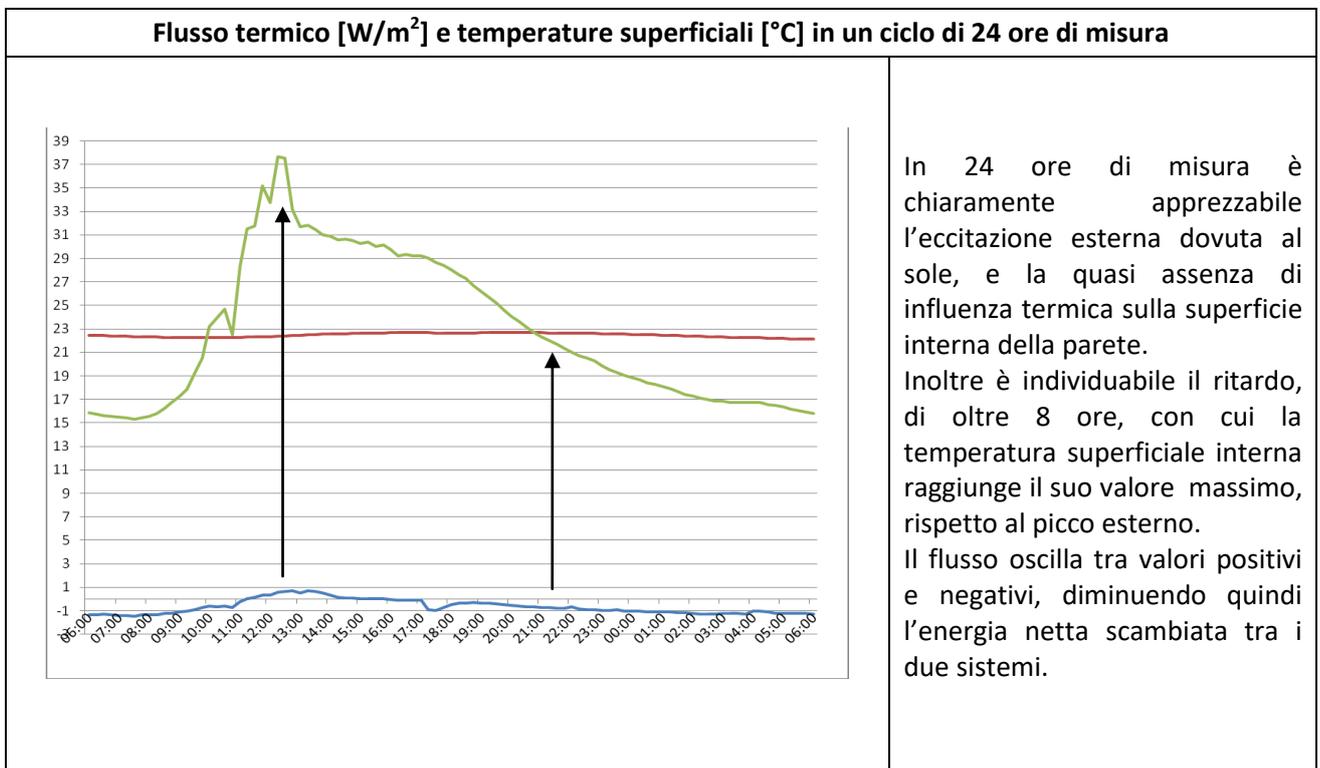
La parete sottoposta a prova, orientata a Sud e sotto irraggiamento diretto del sole, rappresenta il caso ideale per studiare il comportamento del sistema durante il periodo estivo. Infatti a fronte di una sollecitazione termica esterna molto forte è stato possibile misurare la variazione di flusso e di temperatura sul lato interno della parete. Tali informazioni traducono concretamente il significato di trasmittanza termica periodica, attenuazione e sfasamento del sistema.

L'immagine seguente mostra l'andamento nel tempo dell'intera misura, Flusso termico [W/m^2], temperatura superficiale interna [°C] e temperatura superficiale esterna [°C].

Sono chiaramente individuabili i cicli giorno/notte dall'andamento della temperatura superficiale esterna. Per la corretta comprensione del grafico, si tenga conto che anche il flusso termico subisce uno sfasamento analogo a quello della temperatura interna.

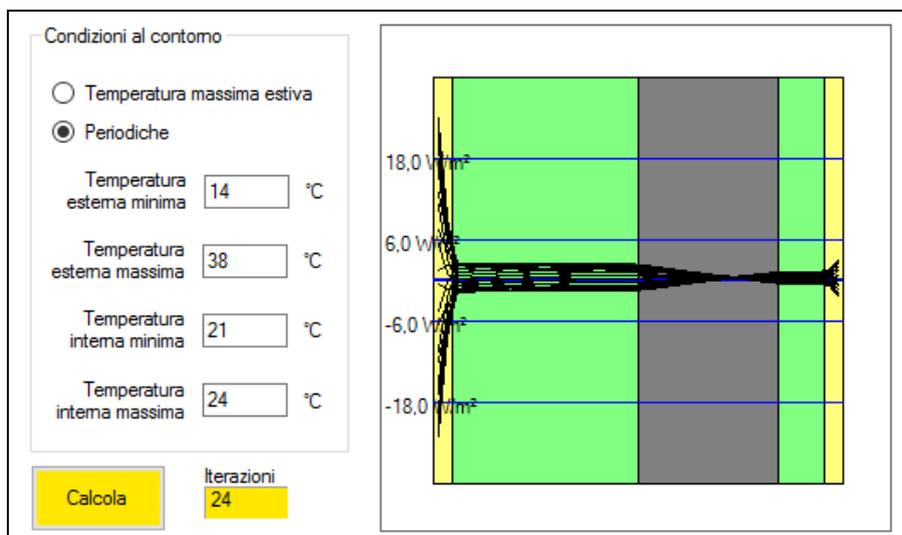


L'immagine seguente analizza con maggior precisione un singolo ciclo di 24 ore, dalle ore 6.00 del 18 settembre 2016 alle ore 6.00 del 19 settembre 2016.



Analizzando i flussi termici misurati, è possibile calcolare l'energia netta scambiata tra interno ed esterno. Si noti, nel grafico sopra, come il flusso di energia dello strato interno, in un ciclo di 24 ore, assuma sia valori positivi che negativi, questo perché ci troviamo in presenza di un flusso dinamico, non stazionario, che non è costante su tutta la sezione ma assume valori che dipendono anche dalla capacità di accumulare e rilasciare energia della parete.

È interessante confrontare il dato misurato con l'analisi dinamica analitica eseguita con il software PAN. Di seguito sono rappresentati i flussi termici in un ciclo di 24 ore, con le stesse condizioni al contorno della misura in campo.



Nella tabella seguente sono riportati i risultati a confronto

Energia netta scambiata tra interno ed esterno in un ciclo di 24 ore	
Misura in opera	Analisi dinamica con software
Sommatoria del prodotto dei flussi termici misurati e il tempo 43,4 kJ/m ²	Energia calcolata 36,9 kJ/m ²
Errore circa 15%	

Tenendo in considerazione che i flussi e le energie in gioco sono molto ridotte, l'analisi dinamica per via analitica si dimostra un ausilio interessante e utile per indagare il comportamento estivo delle strutture ancora prima di ricorrere a misure in campo.

Per concludere, le caratteristiche fisiche che hanno determinato tale comportamento sono:

- ridotta conducibilità termica del materiale isolante, in grado di rallentare il passaggio di calore anche in presenza di elevate differenze di temperatura tra interno ed esterno.
- elevato spessore di isolante, fondamentale per ottenere una resistenza termica significativa, anche in presenza di ridotte conducibilità termiche.
- elevata capacità termica del calcestruzzo, in grado di accumulare la maggior parte dell'energia entrante nel sistema, comunque ridotta grazie al materiale isolante presente. La massa da sola non è garanzia di un buon comportamento estivo.

5 Conclusioni

Il sistema d'isolamento approfondito in questo manuale è il cassero isolante a rimanere.

La peculiarità energetica di questi sistemi è il garantire omogeneità d'isolamento termico, con la correzione dei ponti termici, pur essendo un sistema non isotropo, ovvero la stratigrafia che ne deriva è attraversata da un flusso termico multi direzionale. L'approfondimento ha quindi riguardato la metodologia per affrontare questi sistemi in via analitica, confermandone la validità con misure in campo.

In primo luogo, l'analisi agli elementi finiti ha analizzato l'influenza degli elementi metallici responsabili della maggiorazione del flusso, restituendo dei valori da "spalmare" sull'intera stratigrafia.

Le misure in campo termografiche, realizzate durante il periodo estivo ed invernale, dall'esterno e dall'interno, hanno evidenziato, con l'utilizzo di termocamere professionali, l'omogeneità di colorazione e quindi di distribuzione di temperatura. Ciò significa che, nel sistema costruttivo proposto, la rete costituita da fili d'acciaio passanti, non comporta la presenza di punti a temperatura differente sulle superfici. Ciò grazie alla presenza di materiale isolante nel quale sono annegati i fili d'acciaio (come verificato agli elementi finiti).

Rispetto alle indagini consuete di isolamento termico invernale, sono state condotte analisi in regime estivo, ovvero in regime non stazionario.

È stato possibile studiare il comportamento del sistema grazie ad analisi dinamiche agli elementi finiti, con cui in funzione della conducibilità, spessore e capacità termica si è calcolato l'andamento delle temperature e dei flussi termici nell'arco di ventiquattrore di una giornata tipo.

I risultati hanno mostrato un comportamento estivo ottimale, che garantisce pochissima energia scambiata con l'esterno e il mantenimento di condizioni di confort negli ambienti abitativi.

Il comportamento estivo è stato studiato per via analitica e confermato con misure termoflussimetriche in campo. Le misure hanno anche spiegato in modo semplice alcuni dei parametri utilizzati per descrivere le prestazioni estive delle strutture.

Il tema dell'isolamento termico invernale è quindi da valutarsi in accordo ad una buona capacità di ridurre l'ingresso di energia solare nel periodo estivo.

6 CONTATTI

Per ogni eventuali richieste di approfondimento o chiarimento segnaliamo i seguenti contatti:

- **ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico**
www.anit.it
info@anit.it

- **ECOSISM**
www.ecosism.com
info@ecosism.com

7 BIBLIOGRAFIA

1. R. Esposti, G. Galbusera, A. Panzeri, C. Salani, **Muffa condensa e ponti termici**. *Volume IV collana di ANIT*. Ed. da TEP srl, Terza edizione Gennaio 2016
2. G. Galbusera, A. Panzeri, C. Salani, G. Tuoni, F. Leccese, A. Arengi, I. Scaramella, **Prestazioni estive degli edifici**. *Volume V collana di ANIT*. Ed. da TEP srl, Prima ristampa Maggio 2011
3. **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*
4. **UNI EN 15026:2008**, *Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica*
5. **Prestazioni termiche ed acustiche delle pareti realizzate con sistema ecosism**, studio Tecnicom, Marco Mariotti
6. **Studio del comportamento termico e igrometrico in regime stazionario e dinamico di pareti in calcestruzzo con coibentazione integrata secondo sistema ECOSISM**, Università degli studi di Padova, Dipartimento di Fisica Tecnica
7. **Rapporto di prova dell'Istituto Giordano n. 274993**, determinazione della trasmittanza termica U secondo UNI EN ISO 8990:1999

ANIT
Associazione
Nazionale
per l'Isolamento
Termico e acustico



ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, ha tra gli obiettivi generali la diffusione, la promozione e lo sviluppo dell'isolamento termico ed acustico nell'edilizia e nell'industria come mezzo per salvaguardare l'ambiente e il benessere delle persone.

ANIT

- Diffonde la corretta informazione sull'isolamento termico e acustico degli edifici
- Promuove la normativa legislativa e tecnica
- Raccoglie, verifica e diffonde le informazioni scientifiche relative all'isolamento termico ed acustico
- Promuove ricerche e studi di carattere tecnico, normativo, economico e di mercato

I soci **ANIT** si dividono nelle categorie

- **SOCI INDIVIDUALI**: Professionisti, studi di progettazione e imprese
- **SOCI AZIENDA**: Produttori di materiali e sistemi per l'isolamento termico e acustico
- **SOCI ONORARI**: Enti pubblici e privati, Università e Scuole Edili, Ordini e Collegi professionali

STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante aggiornamento sulle norme in vigore con le **GUIDE ANIT**



I Software **ANIT** per calcolare tutti i parametri energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di chiarimento tecnico da parte dello Staff **ANIT**



La rivista specializzata **Neo-Eubios**

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato
I Soci Individuali possono accedere alla qualifica "**Socio Individuale Più**" per ottenere servizi avanzati

Per informazioni

www.anit.it

info@anit.it

Tel. 0289415126

ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
Via Lanzone 31 - 20123 – Milano