

Tecniche Strumentali per la Diagnosi Energetica nel Settore Civile

Ing. Roberto Callegari

INTRODUZIONE

Una adeguata conoscenza della situazione esistente di un edificio è un prerequisito **fondamentale** per una corretta valutazione pianificazione, progettazione e realizzazione degli interventi di miglioramento energetico, e soprattutto per garantirne la loro convenienza economica.

Per il patrimonio edilizio esistente è normalmente molto difficile ricostruire con accuratezza la situazione reale, sia per quanto riguarda l'involucro che per quanto riguarda i sistemi impiantistici.

INTRODUZIONE

Per poter ovviare a questo problema vi sono fondamentalmente due gruppi di tecniche che permettono di ricostruire con adeguata accuratezza la situazione esistente e sono:

- tecniche invasive \Rightarrow demolizioni, carotaggi, boroscopia, etc.
- tecniche non invasive \Rightarrow sfruttano alcuni comportamenti particolari delle strutture analizzate per ricavarne i parametri fisici fondamentali.

INTRODUZIONE

In questa presentazione verranno esaminate unicamente le principali tecniche non invasive che consentono la valutazione dei parametri necessari dal punto di vista della valutazione energetica.

Le tecniche normalmente utilizzate a questo scopo sono:

- Termografia agli infrarossi
- Termoflussimetria

INQUADRAMENTO

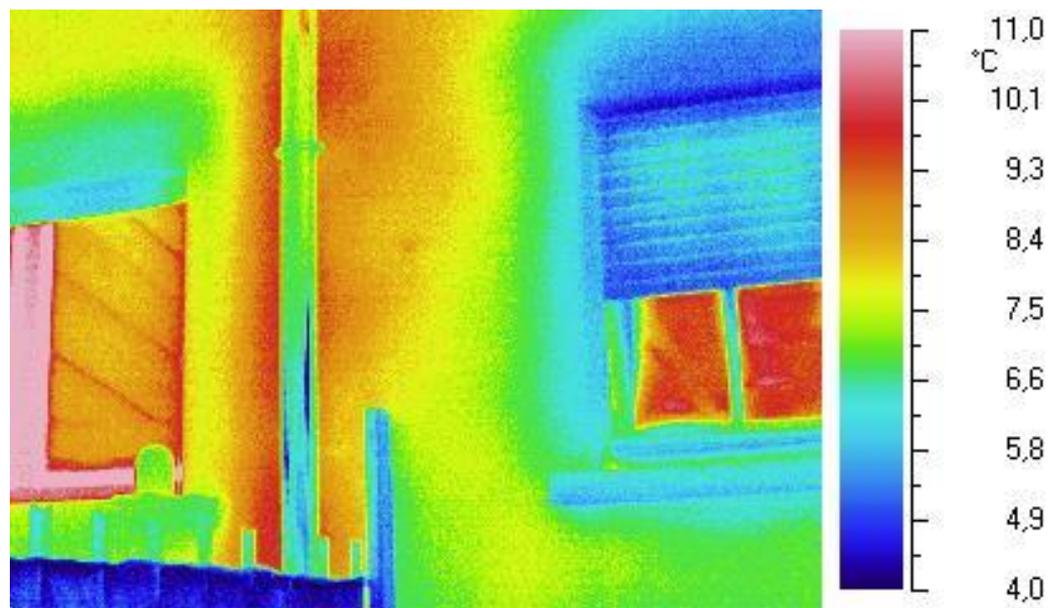
La termografia sfrutta la proprietà di tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto ($-273,16$ °C) di emettere energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche

Tali radiazioni vengono ricevute da un sensore che attraverso una elaborazione permette di risalire alla temperatura superficiale del corpo.

Le termocamere hanno sensori che rilevano 19.200 (160x120), 76.800 (320x240) o 307.200 (640x480) punti di misura, che si trasformano in pixel di una immagine radiometrica, permettendo quindi di ricavare la mappa termica della struttura ripresa.

INQUADRAMENTO

Questa mappa termica viene rappresentata mediante una immagine detta “a falsi colori”, in quanto ogni gradazione di colore rappresenta convenzionalmente un valore di temperatura secondo una scala riportata a margine dell'immagine stessa; il risultato è una vera e propria immagine termica del corpo ripreso.



INQUADRAMENTO

La termoflussimetria misura il flusso termico attraverso una superficie durante un intervallo di tempo stabilito, permettendo, attraverso queste rilevazioni, di ricavare il valore della conduttanza (o della trasmittanza) della struttura in corrispondenza della superficie analizzata.

Evidentemente gli obiettivi delle due tecniche sono molto diversi; il loro utilizzo non è però mutuamente esclusivo ma complementare.

INQUADRAMENTO

Infatti l'immagine termografica:

- permette di individuare velocemente eventuali punti problematici (ponti termici, interruzioni e/o deterioramenti delle coibentazioni, infiltrazioni di acqua o di umidità, errati montaggi di serramenti, etc.),
- non permette però di valutare con sufficiente precisione la conduttanza/trasmittanza termica delle strutture,

quindi, pur essendo un metodo quantitativo per quanto riguarda la grandezza direttamente misurata (la temperatura) si dimostra un metodo di tipo qualitativo per la valutazione delle trasmittanze e delle anomalie termiche.

INQUADRAMENTO

La termoflussimetria è un metodo quantitativo che permette di valutare la conduttanza/trasmittanza di una struttura in regime stazionario

La valutazione:

- viene eseguita su una piccola superficie della struttura (qualche dm^2)
- richiede tempi di rilevazione relativamente lunghi (normalmente intorno alle 72÷96 ore ed oltre per strutture ad elevata resistenza termica)

Se il posizionamento della piastra termoflussimetrica non risulta corretto anche la valutazione della trasmittanza ottenuta, che verrà estesa per similitudine a tutta la struttura in esame, risulterà falsata.

INQUADRAMENTO

Data la lunghezza dei tempi di rilevazione, non è praticabile la ripetizione delle misurazioni termoflussimetriche in numerosi punti per poter diminuire l'incertezza della misura con metodi statistici.

Si ricorre pertanto all'utilizzo della termocamera per la localizzazione di una sezione di parete non affetta da anomalie e pertanto significativa.

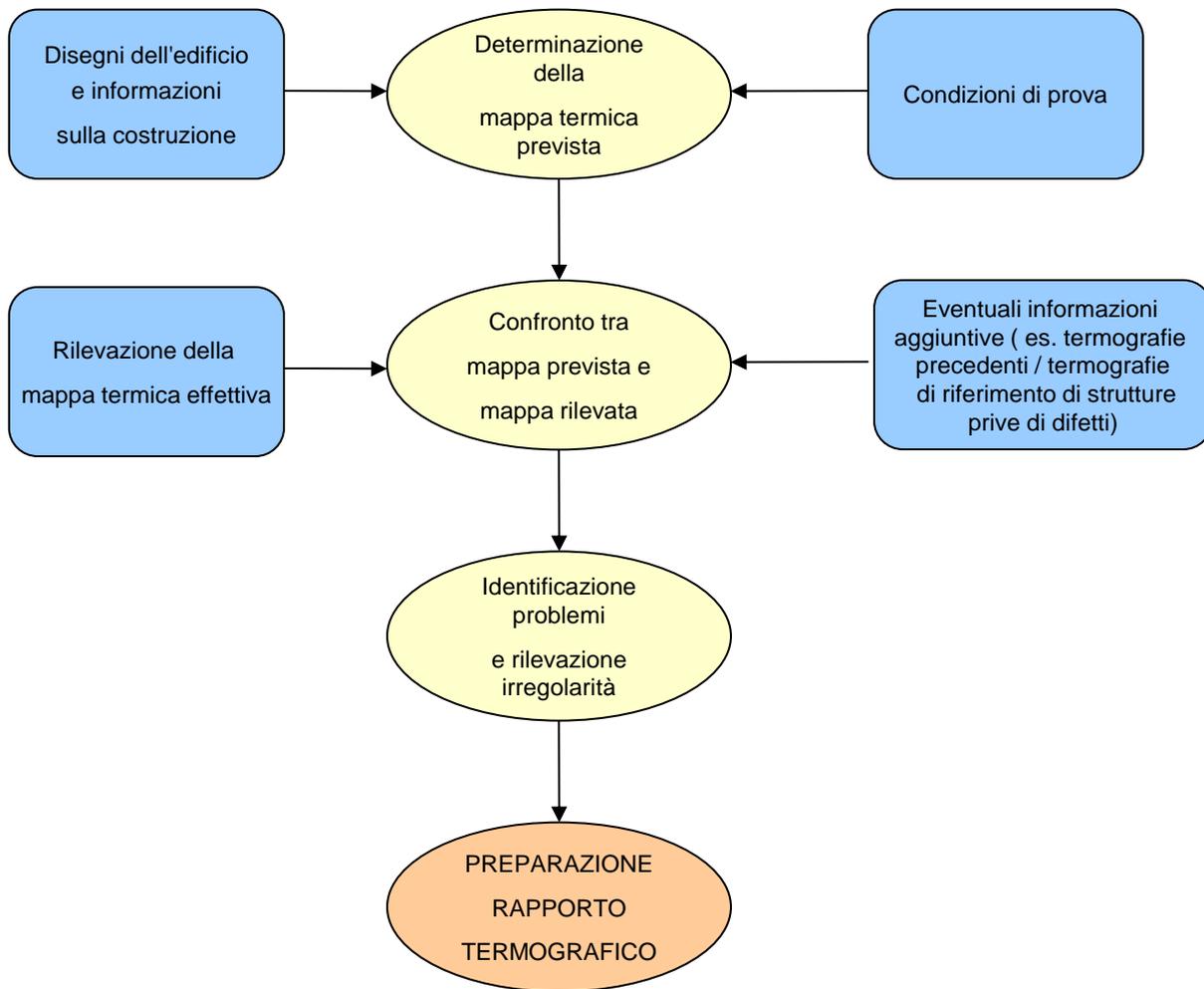
Quindi nell'esecuzione delle diagnosi energetiche:

- la termocamera permette di avere un quadro generale della situazione energetica e di individuare i punti critici sui quali intervenire
- Il termoflussimetro consente di avere una valutazione di tipo quantitativo e quindi di ottenere un supporto oggettivo ed una base affidabile per l'esecuzione di valutazioni numeriche

APPLICAZIONI DELLA TERMOGRAFIA

- Rilevazione delle irregolarità termiche degli involucri edilizi
- Utilizzo congiunto con “Blower door” per visualizzazione infiltrazioni aria
- Individuazione di irregolarità nella continuità dei materiali (distacchi, fessurazioni, etc.)
- Individuazione dell’umidità
- Individuazione di dispersioni termiche dagli impianti
- Individuazione perdite dagli impianti

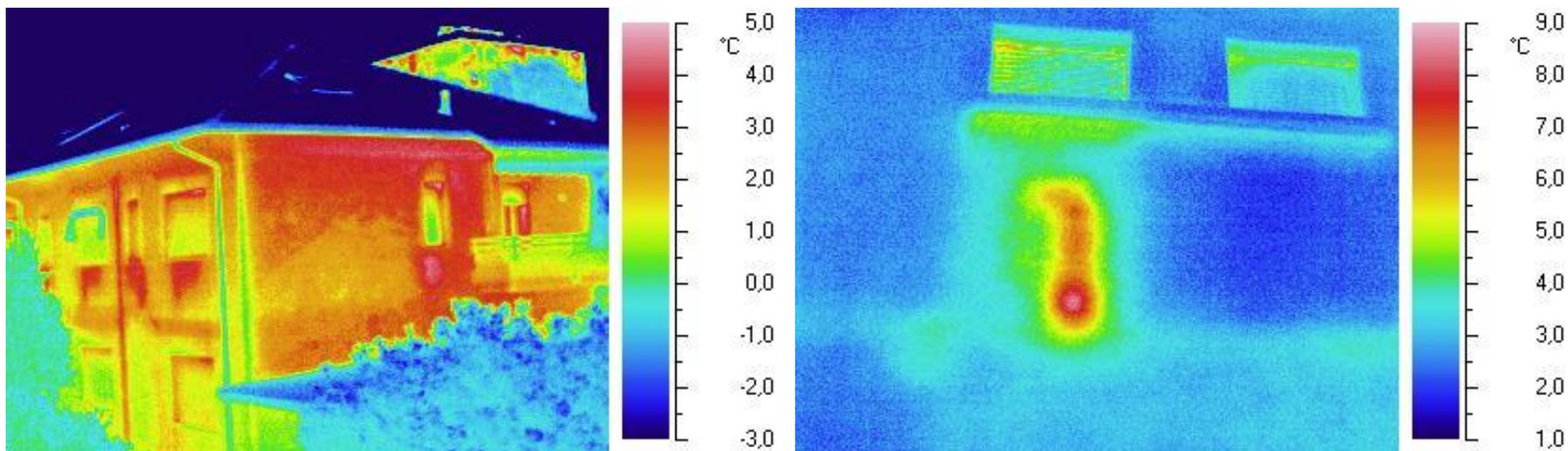
PROCEDURA GENERALE PER ISPEZIONE TERMOGRAFICA DEGLI EDIFICI



INDIVIDUAZIONE IRREGOLARITÀ DI ISOLAMENTO

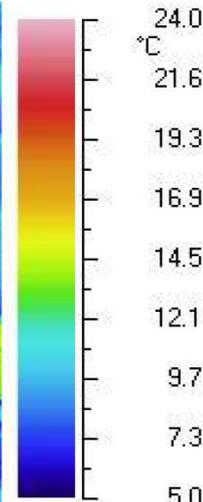
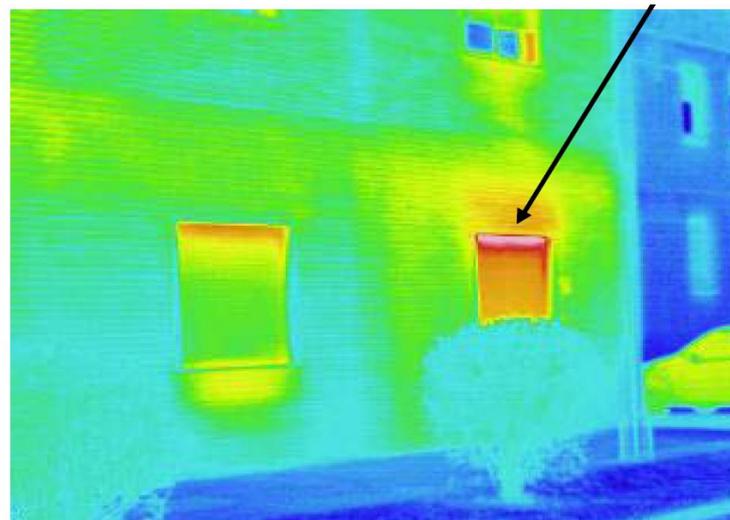
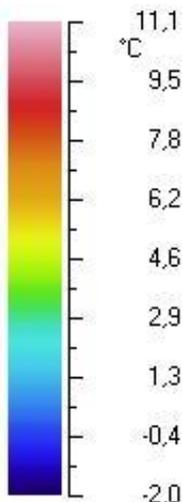
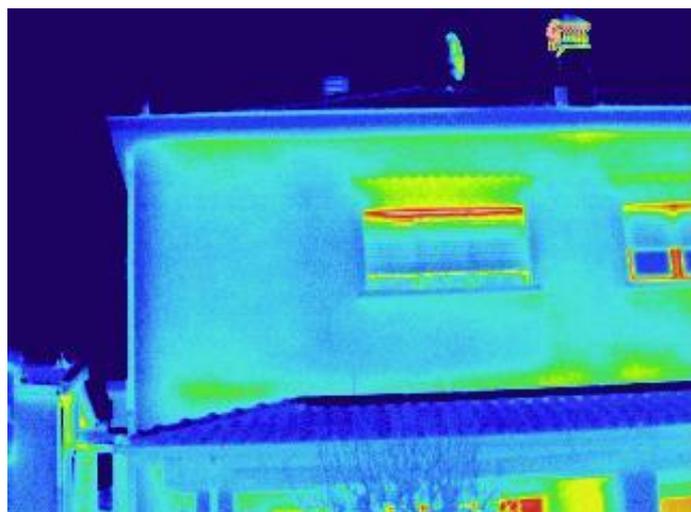
Oltre ai ponti termici si possono individuare altri punti che causano un aumento delle dispersioni energetiche verso l'ambiente.

Nelle figure qui sotto si possono chiaramente rilevare le dispersioni dovute ai radiatori installati in corrispondenza delle pareti sottofinestra.



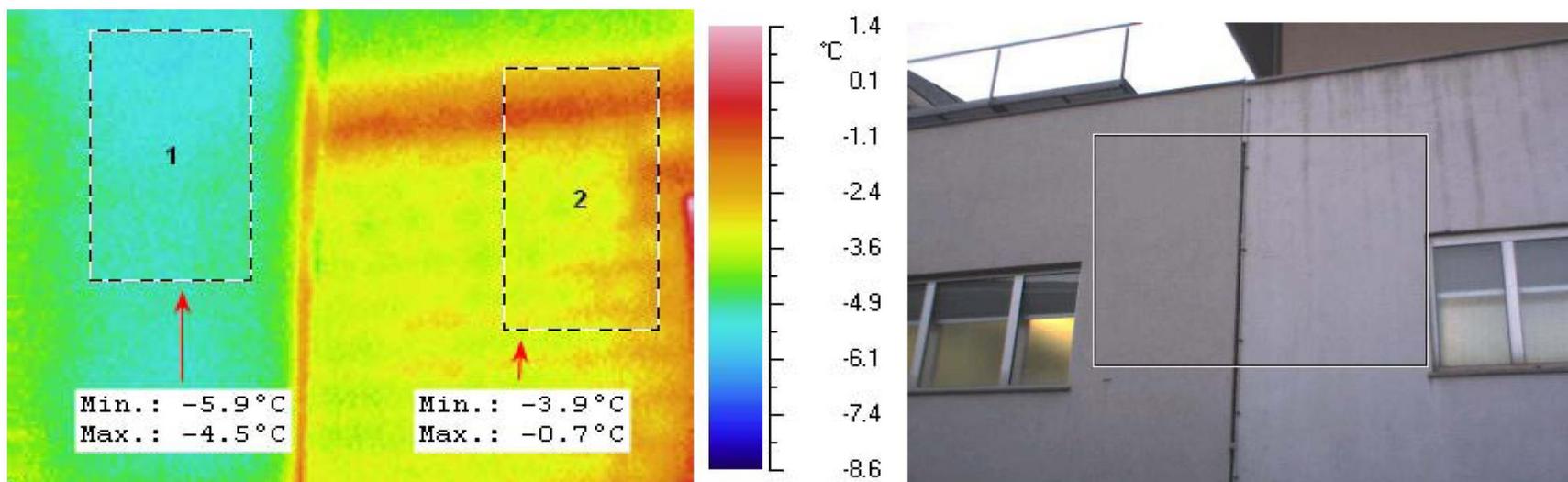
INDIVIDUAZIONE IRREGOLARITÀ DI ISOLAMENTO

In queste immagini sono chiaramente visibili sopra le finestre zone non correttamente isolate, con flussi di calore attraverso i cassonetti e le solette.



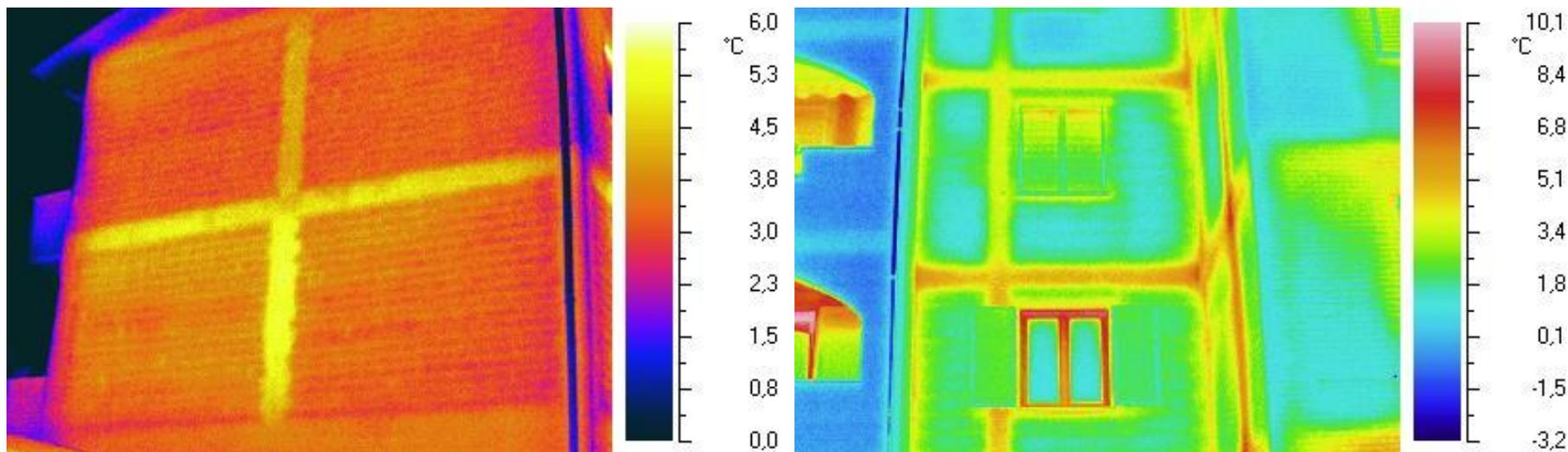
INDIVIDUAZIONE IRREGOLARITÀ DI ISOLAMENTO

Questa immagine termica permette di visualizzare e quantificare le differenze di temperatura di una parete con (sinistra) e senza (destra) rivestimento a cappotto.



INDIVIDUAZIONE DI PONTI TERMICI

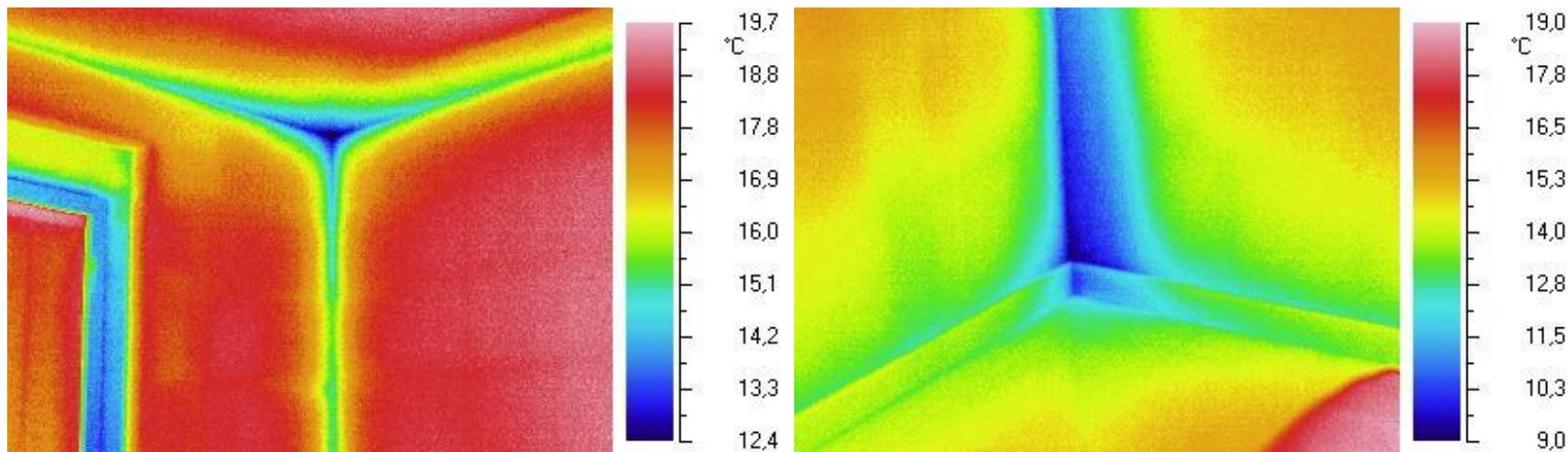
Ad una rilevazione termografica eseguita in regime stazionario e con una differenza di temperatura significativa tra interno ed esterno il ponte termico appare come una area a temperatura superiore rispetto alla muratura corrente, e pertanto disperde una maggiore potenza in ambiente. Nelle figure qui sotto si vede un esempio evidente dove appaiono chiaramente i ponti termici relativi alla struttura in cemento armato ed alle solette.



INDIVIDUAZIONE DI PONTI TERMICI

Nelle stesse condizioni al contorno (interno caldo ed esterno freddo, in situazione “stazionaria”) il ponte termico rilevato dall'interno appare invece come un'area a temperatura inferiore rispetto alla zona circostante.

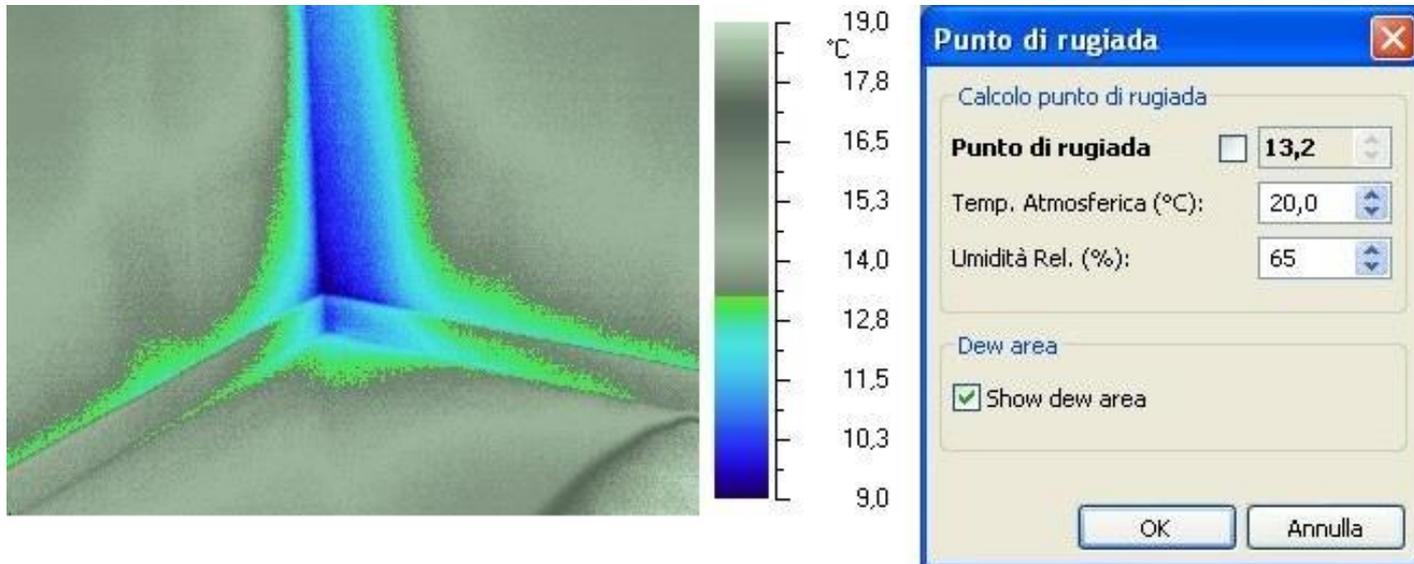
Le figure qui sotto mostrano, dall'interno di un edificio, il ponte termico all'intersezione tra muro esterno, soletta/soffitto e parete interna; nella figura a sinistra si può vedere, anche se solo parzialmente, il ponte termico di contorno della finestra.



INDIVIDUAZIONE DI PONTI TERMICI

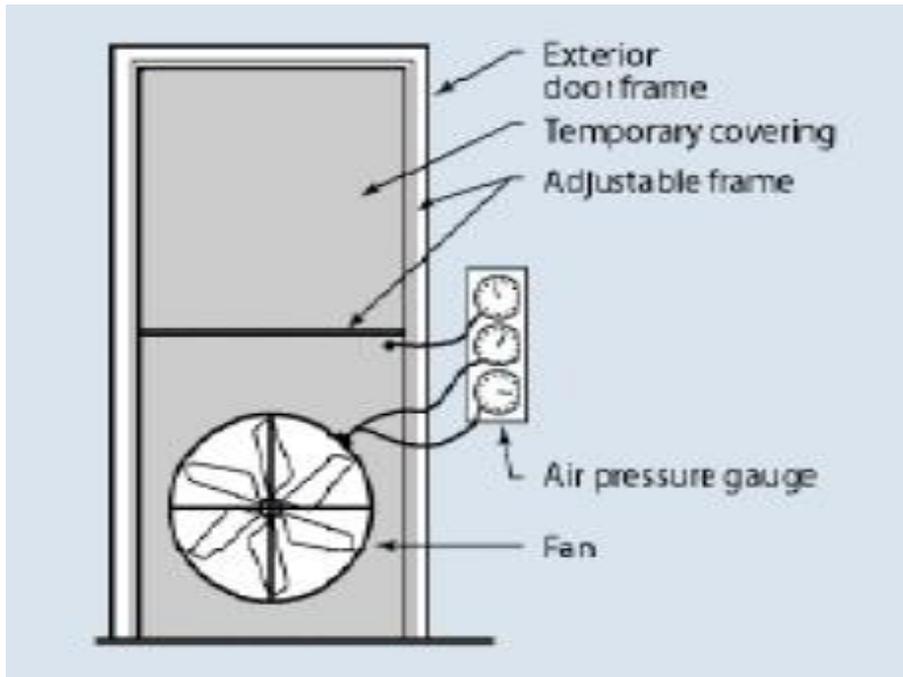
Il ponte termico può diventare zona di condensazione di umidità all'interno dell'unità immobiliare se la sua temperatura superficiale scende sotto il valore di saturazione dell'aria nell'ambiente.

Nell'immagine qui sotto si è operata una separazione tra le aree a temperatura superiore a quella di saturazione (zona grigia) e quelle a temperatura inferiore ove invece si ha la possibilità di formazione di condensa.



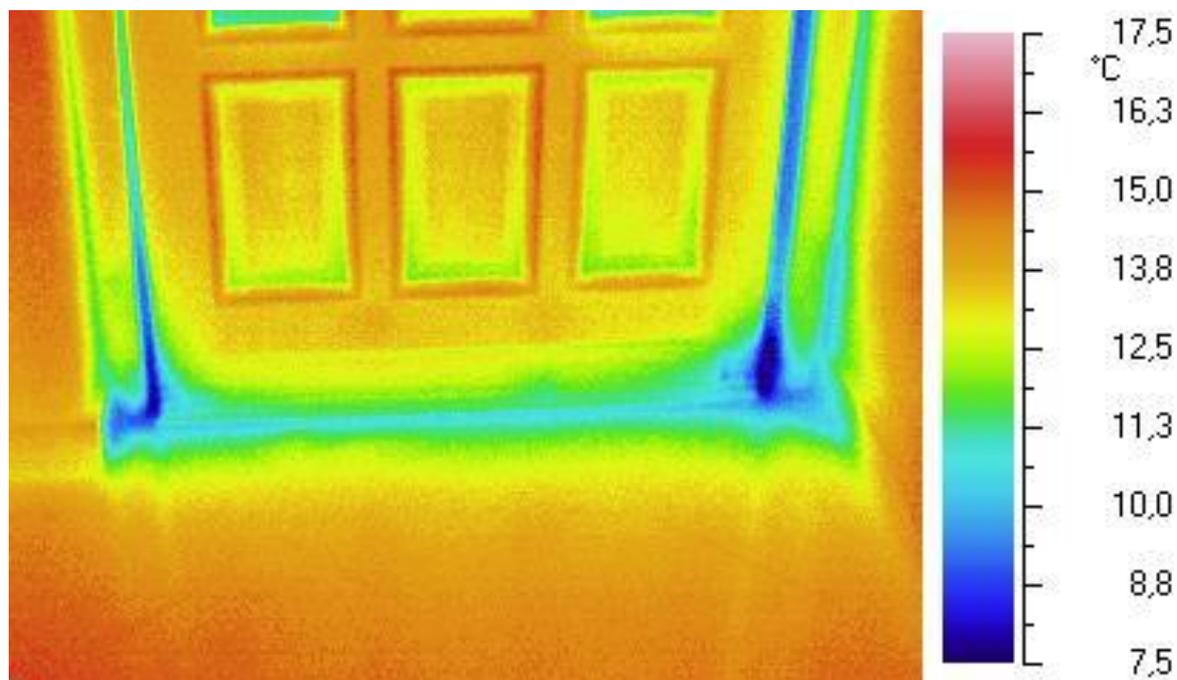
BLOWER DOOR

L'uso della Blower Door insieme alla termocamera permette di individuare le zone di infiltrazione dell'aria.



INDIVIDUAZIONE DI INFILTRAZIONI D'ARIA

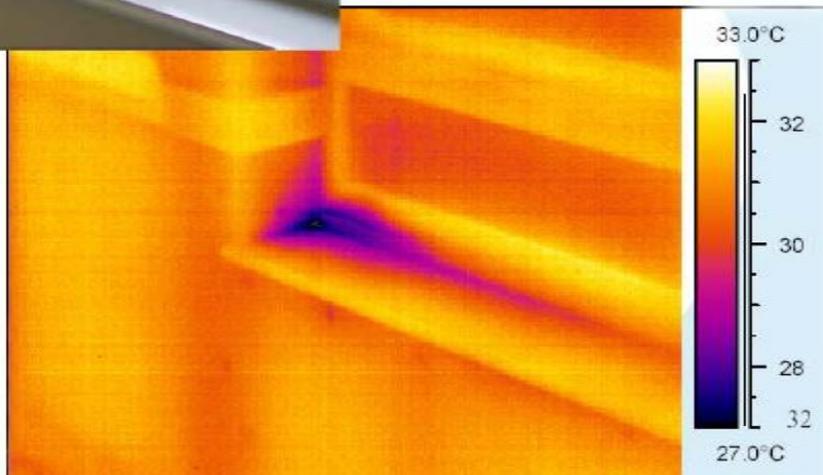
Le infiltrazioni di aria dai serramenti ed infissi non sono visibili direttamente, in quanto l'aria è trasparente agli infrarossi, ma indirettamente mediante il loro effetto di raffreddamento delle superfici lambite, come possiamo vedere in questo caso.



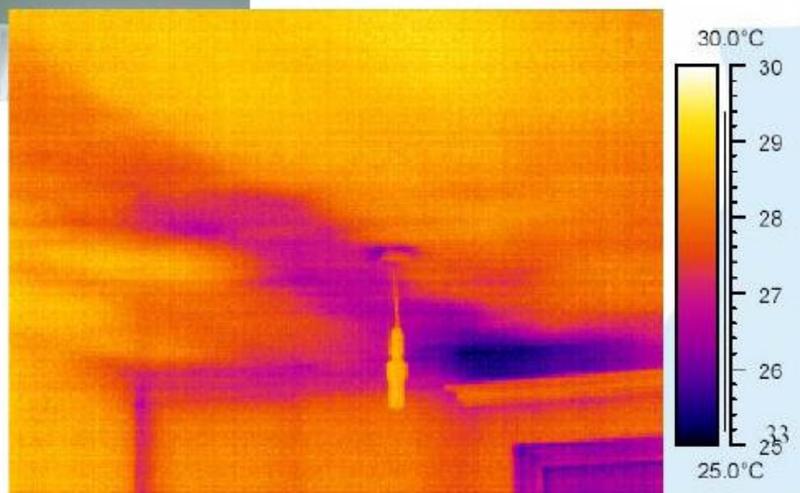
INFILTRAZIONE DA FINESTRA



Anche in questo caso non è l'infiltrazione d'aria a venire individuata ma i suoi effetti termici.

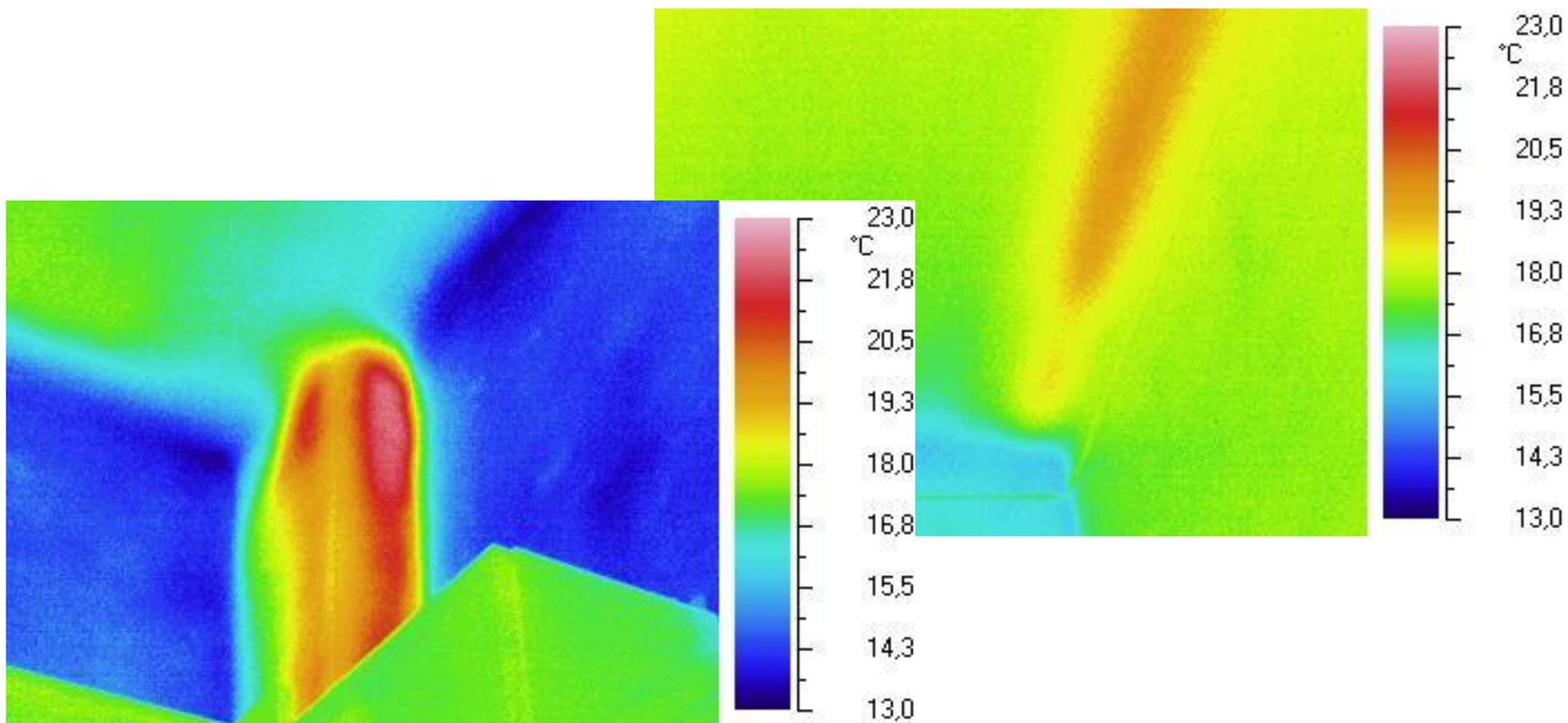


INFILTRAZIONE ARIA FREDDA IN CAVITÀ SOFFITTO



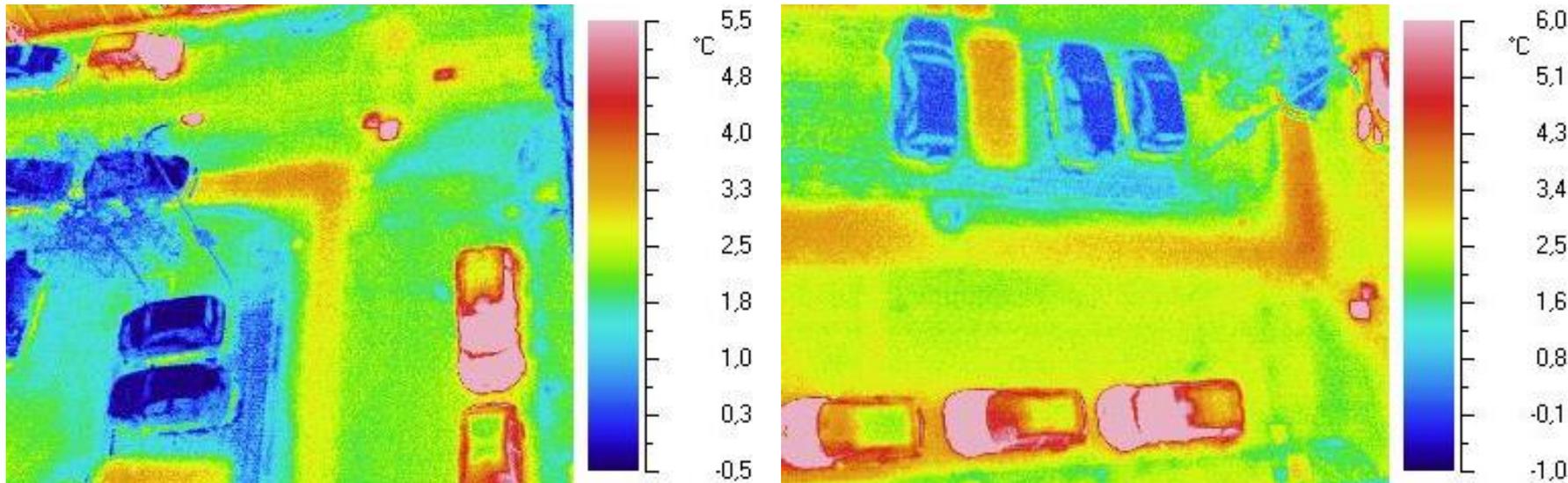
INDIVIDUAZIONE DI TUBAZIONI POCO ISOLATE

Le figure qui sotto mostrano come sia possibile mediante termografia l'individuazione di tubazioni calde poco coibentate



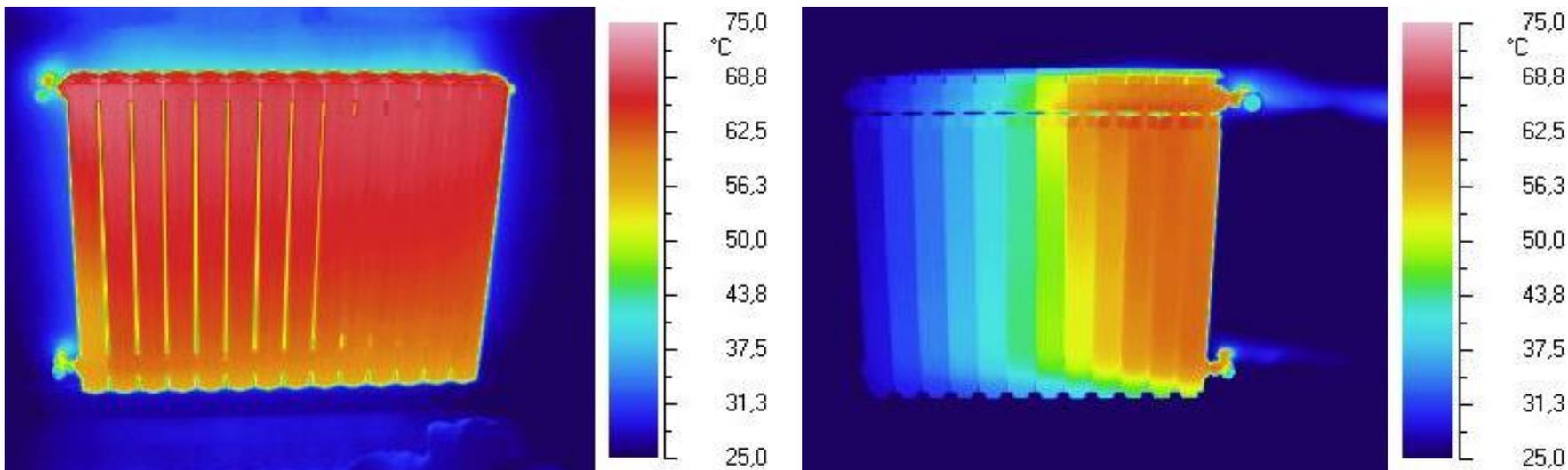
INDIVIDUAZIONE DI TUBAZIONI POCO ISOLATE

Se la differenza di temperatura tra il fluido nella tubazione e l'ambiente è sufficiente, in molti casi è anche possibile individuare tubazioni anche ben coibentate come mostrano le figure qui sotto relative alla rilevazione del percorso di una rete di distribuzione del fluido termovettore per teleriscaldamento.



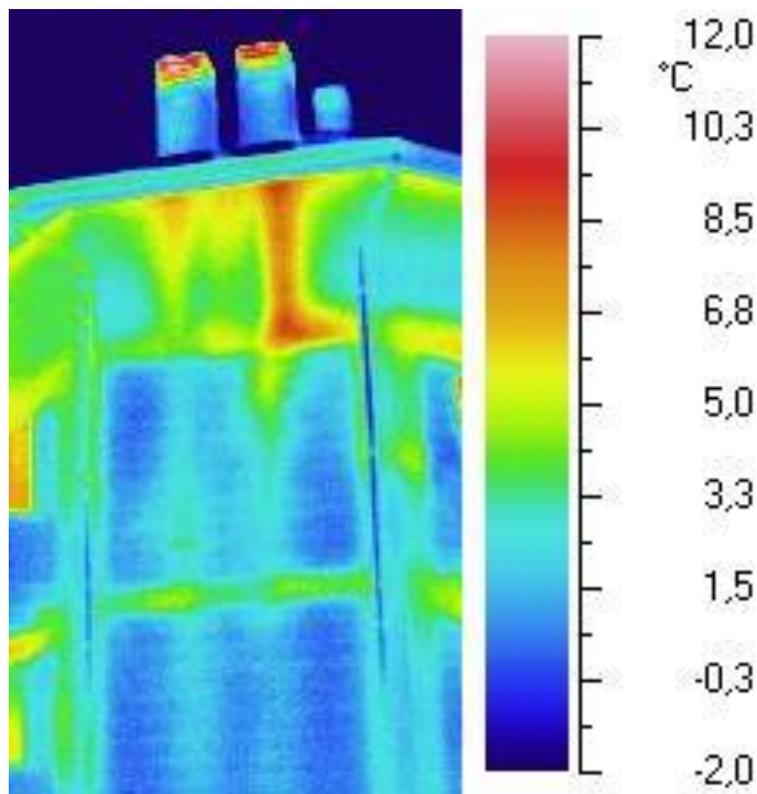
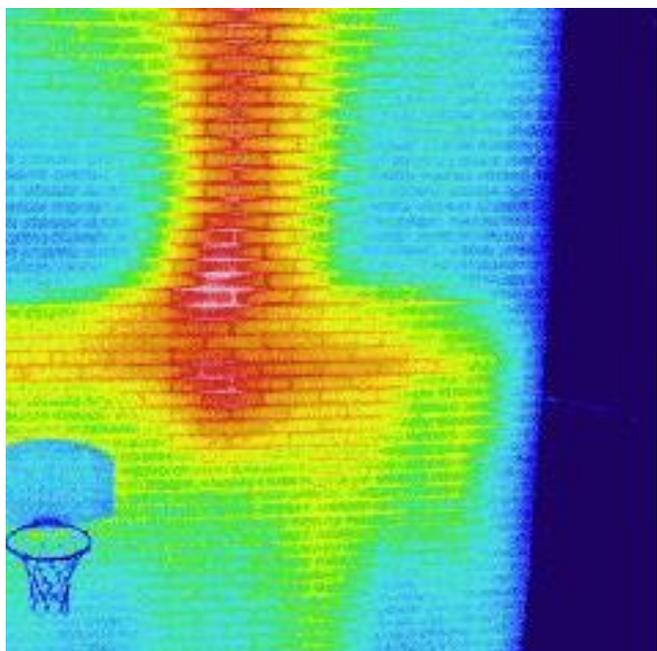
VERIFICHE SU IMPIANTI

Nelle figure qui riportate sono rispettivamente rappresentati un radiatore con funzionamento regolare ed uno con un malfunzionamento che ne compromette l'efficienza; le due immagini sono riprodotte con la medesima scala di temperatura, e pertanto sono direttamente confrontabili.



INDIVIDUAZIONE CANNE FUMARIE

Controllando termograficamente la parete esterna di un edificio sono individuabili anche i percorsi delle canne fumarie in attività



TERMOFLUSSIMETRIA

Il termoflussimetro è un strumento costituito da:

- un registratore di dati (data logger), possibilmente dotato di integratore
- una piastra termoflussimetrica, costituita da un sottile strato di materiale di resistenza termica nota e stabile
- almeno due (meglio quattro) sensori di temperatura a contatto

Il campo di applicazione del termoflussimetro è unicamente la determinazione della conduttanza o della trasmittanza termica delle pareti in opera.

La misura con il termoflussimetro è ragionevolmente affidabile: l'errore medio è inferiore al 8% con un range che va da 1% al 15%.

TERMOFLUSSIMETRIA

In condizioni stazionarie il flusso termico Q che attraversa una parete nell'unità di tempo è dato da:

$$Q = k \cdot A \cdot (T_i - T_e)$$

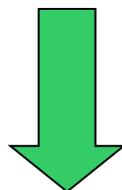
dove

- $k = U$ Trasmittanza
- $k = C$ Conduttanza

Se la parete fosse sottoposta ad un regime stazionario, potrebbero essere sufficienti misure istantanee di temperatura, e quindi la rilevazione si potrebbe eseguire con una termocamera o con termometri a contatto.

TERMOFLUSSIMETRIA

In realtà la situazione in intervalli di tempo brevi di una parete in opera può difficilmente venire considerata come stazionaria



risulta pertanto necessario:

- rilevare i parametri per un periodo di tempo sufficientemente lungo da poter compensare correttamente gli effetti transitori di accumulo/rilascio di energia causati dal regime termico variabile
- elaborarli con metodi adeguati.

TERMOFLUSSIMETRIA

A tale scopo sono disponibili principalmente due metodi

- **Il metodo delle medie progressive** o media mobile consiste nel calcolare la conduttanza utilizzando, ad ogni istante, anziché i valori istantanei di flusso e temperatura, i valori medi calcolati su tutti gli istanti precedenti.
- **Il metodo “Black Box”**, così chiamato perché non presuppone la conoscenza del sistema fisico in esame ma solo delle serie temporali dei dati (la temperatura interna ed esterna ed il flusso termico); dai dati si risale, con un metodo statistico, alle caratteristiche fisiche della parete.
É adatto a situazioni con condizioni al contorno fortemente dinamiche ed intervalli di tempo elevati tra le misurazioni.

TERMOFLUSSIMETRIA

La metodologia delle medie progressive fornisce buone garanzie sull'ottenimento di risultati significativi, ma presenta lo svantaggio di richiedere tempi di misura relativamente lunghi, specie nel caso di pareti ad elevata inerzia termica o in condizioni fortemente dinamiche;

L'elaborazione dei dati mediante l'approccio black-box presenta il vantaggio di richiedere, generalmente, monitoraggi più brevi rispetto a quelli delle medie progressive ma, trattandosi di una tecnica puramente numerica, comporta maggiori rischi di una non convergenza della soluzione del problema e di ottenere risultati della procedura non significativi dal punto di vista fisico.

TERMOFLUSSIMETRIA

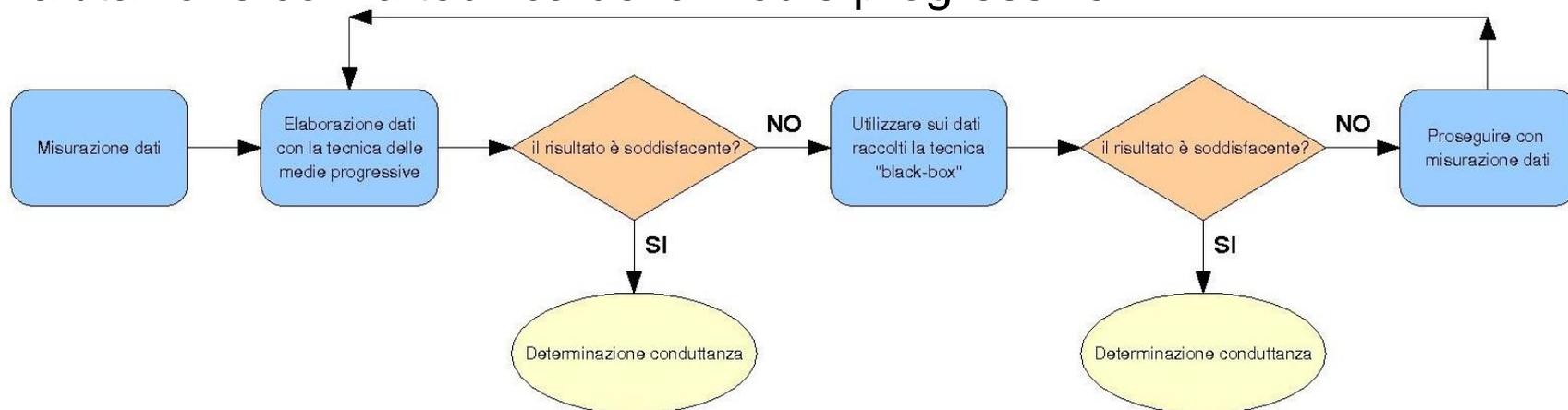
Date le considerazioni di cui sopra, un metodo ragionevolmente affidabile di impostare una campagna di misurazioni con il termoflussimetro può essere il seguente:

1. Individuazione, anche mediante analisi termografica, di una posizione significativa per eseguire la misura termoflussimetrica
2. posizionamento dell'attrezzatura e misurazione dei dati (temperature e flusso termico) per almeno 72 ore
3. elaborazione dei dati raccolti con la tecnica delle medie progressive
4. se il risultato è soddisfacente (le oscillazioni del valore della conduttanza sono sufficientemente smorzate) si ferma la misura e si assume il valore ottenuto come misura della conduttanza in opera della parete.

TERMOFLUSSIMETRIA

4. in caso di pareti ad elevata inerzia termica, per le quali il valore di conduttanza determinato mediante la procedura delle medie mobili risulti fortemente oscillante, si può procedere ad utilizzare sui dati raccolti la tecnica “black-box”

5. se la stima della conduttanza con il metodo “black box” è soddisfacente, assumerne il valore come valore di riferimento altrimenti continuare le misurazioni per raccogliere più dati e ripetere la valutazione con la tecnica delle medie progressive.



GRAZIE
PER LA VOSTRA
ATTENZIONE