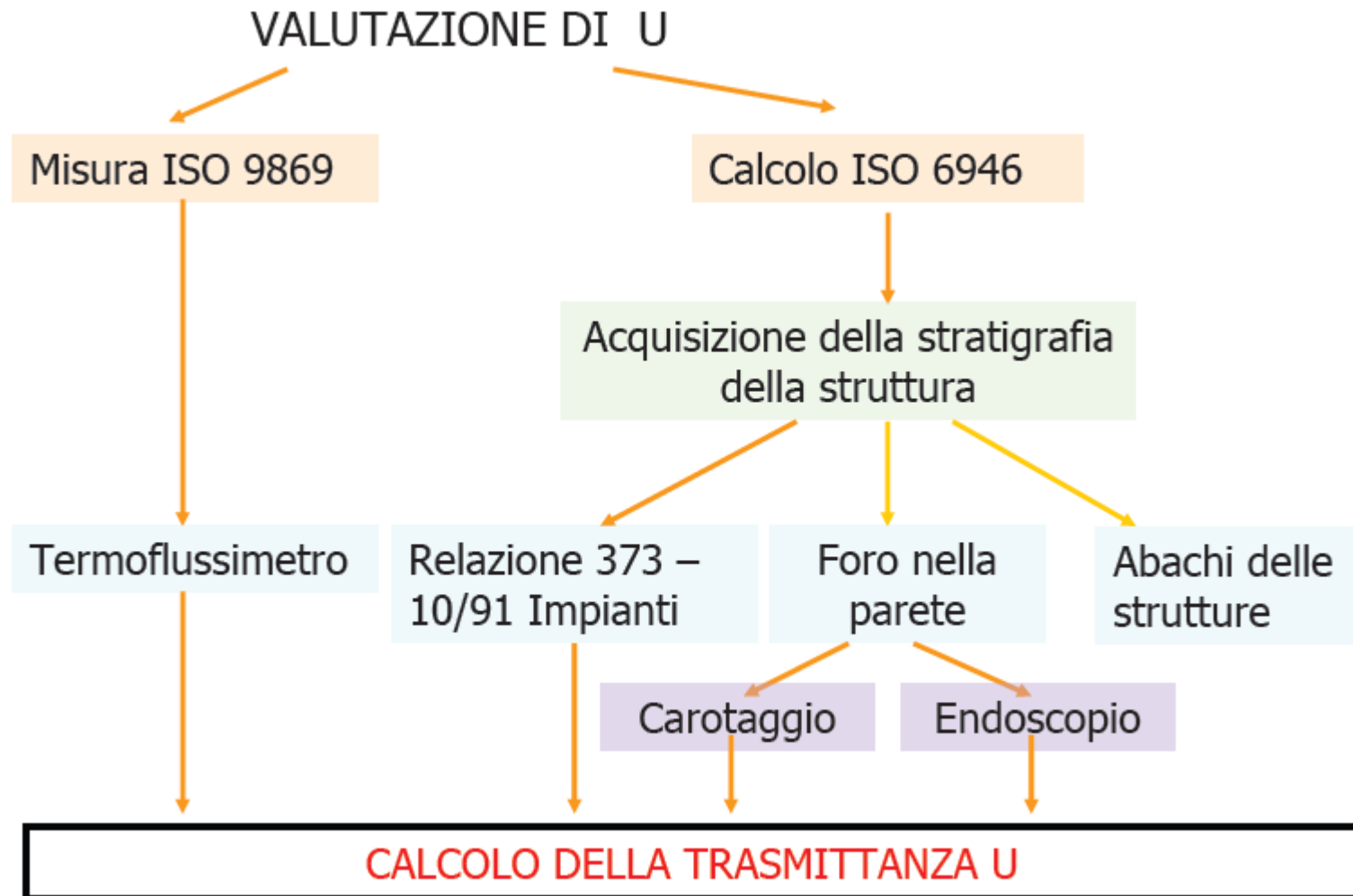


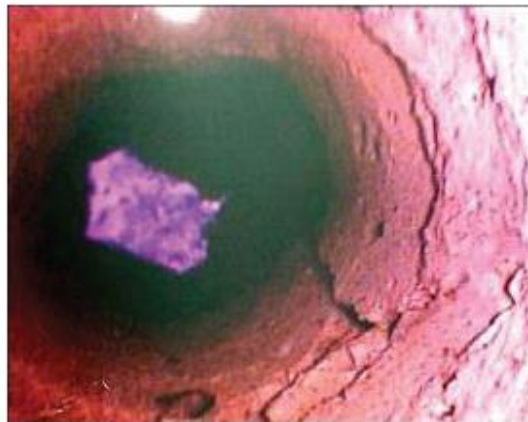
TRASMITTANZA PARETI OPACHE



TRASMITTANZA PARETI OPACHE

	METODO DI VALUTAZIONE	STRUMENTI NECESSARI	COSTO	TEMPI NECESSARI	SOGGETTI INTERESSATI	AFFIDABILITA' DELLE VALUTAZIONI
1	Calcolo EN ISO 6946	Foglio di calcolo e Banca dati delle caratteristiche dei materiali	Basso	Ridotti		
1.1	Reperimento dei dati tramite ABACHI o raccomandazioni CTI	Raccomandazioni CTI o Abaco Regionale, provinciale, comunale delle strutture	Basso	Ridotti	Proprietario	Molto bassa Abaco= progetto= costruito?
1.2	Reperimento dei dati tramite materiale cartaceo del progetto	Documentazione tecnica relativa alla concessione edilizia o al rogito o alla relazione impianti	Basso	Mediamente Lunghi	Proprietario Ufficio Tecnico Comunale	Bassa Progetto = costruito?
1.3	Reperimento dei dati con sopralluogo e foratura parete	Endoscopio	Molto elevato	Ridotti	Proprietario e inquilino	Media Esperienza del professionista
1.4	Reperimento dei dati con sopralluogo e foratura parete	Carotaggio	Basso	Ridotti	Proprietario e inquilino	Buona
2	Misura in opera ISO 9869	Termoflussimetri – acquisitora dati, termocoppie	Medio	Ridotti	Inquilino	Ottima

ENDOSCOPIO



Valutazione della stratigrafia
con ENDOSCOPIO



Calcolo di U con
ISO 6946



- Valutazione invasiva eseguita su una parete significativa, rappresentante la tipologia del sistema di chiusura

- Esperienza da parte dell' esaminatore

- Costo elevato dello strumento



ENDOSCOPIO/CAROTAGGIO



*Metodi
invasivi e
distruttivi*

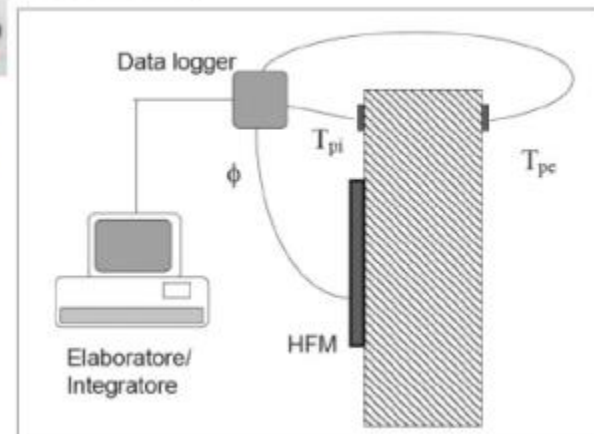


TERMOFLUSSIMETRO

Misura in opera con termoflussimetro e sonde di temperatura (norma ISO 9869)



*termoflussimetro,
acquisitore e
sonde di T*



TERMOFLUSSIMETRO



Interno



Esterno

TERMOFLUSSIMETRO

La procedura consiste nel monitorare per periodi sufficientemente lunghi:

- il flusso termico specifico attraverso la parete φ
- le temperature T_i e T_e (se l'obiettivo è la determinazione della trasmittanza, U . Nel caso si voglia misurare la conduttanza, C , della parete si rileveranno, invece, le temperature superficiali T_{si} e T_{se}). La forte non stazionarietà delle condizioni termiche esterne rende però la misura molto lunga (60-80 ore)

$$U = \frac{\overline{\varphi}}{\overline{T}_i - \overline{T}_e} \qquad C = \frac{\overline{\varphi}}{\overline{T}_{si} - \overline{T}_{se}}$$

TERMOFLUSSIMETRO

Occorre applicare i sensori in una porzione di superficie rappresentativa della “parete corrente” che si desidera caratterizzare. E’ buona norma:

- posizionare il termoflussimetro sul lato interno, della parete (per minimizzare gli effetti di disturbo della radiazione solare e per mantenere il sensore in un ambiente meno “aggressivo”),
- rilevare la temperatura superficiale interna ed esterna in almeno due punti diversi ed assumere per l’analisi dei dati la media fra queste due letture (per minimizzare l’effetto di eventuali piccole disomogeneità nella struttura della parete).

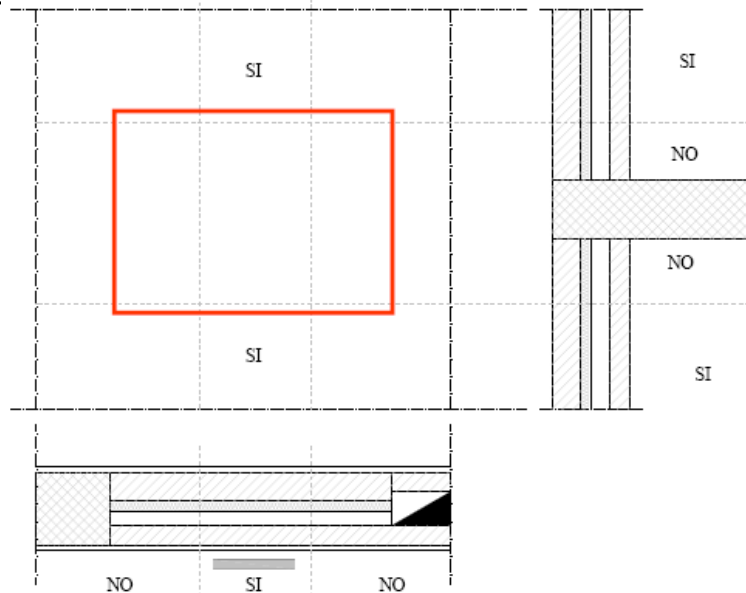
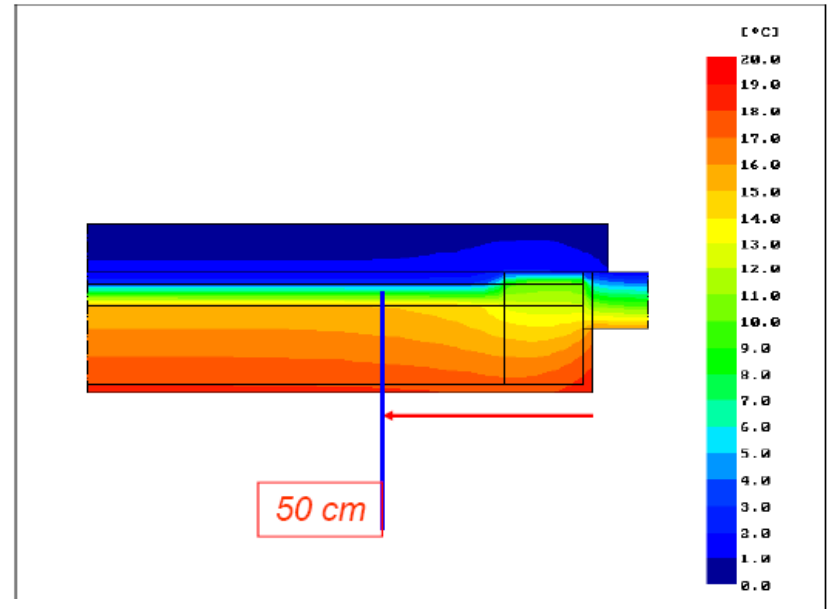
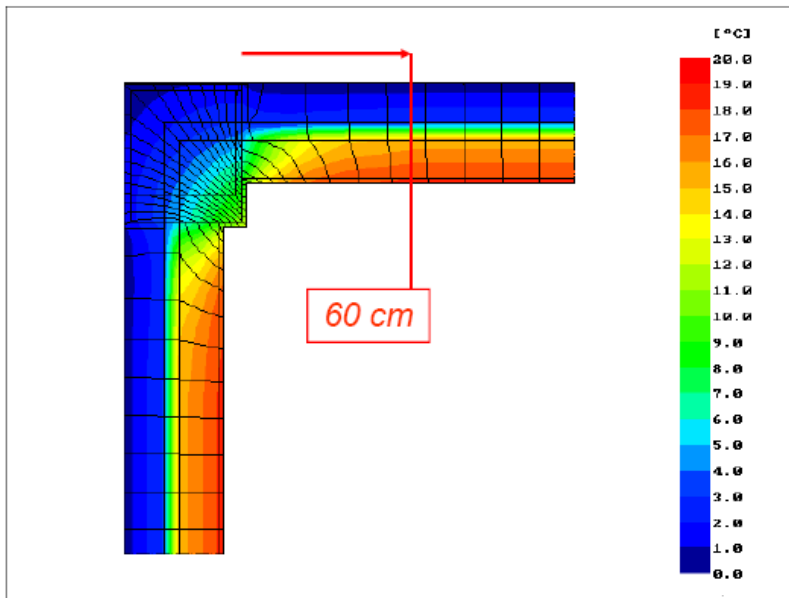
TERMOFLUSSIMETRO

Nella posa di tutti i sensori occorre curare la perfetta adesione del sensore con la parete (dove possibile è raccomandabile l'impiego di “**paste termiche**” per ridurre la resistenza termica di contatto).

E' necessario evitare che i sensori siano investiti direttamente dalla radiazione solare (il diverso comportamento ottico rispetto alla superficie della parete, infatti, indurrebbe sensibili errori di misura).

Al fine di minimizzare gli errori di misura è buona norma effettuare la sperimentazione durante una stagione in cui vi siano forti differenze di temperatura fra ambiente interno ed esterno.

TERMOFLUSSIMETRO



TERMOFLUSSIMETRO – MEDIE PROGRESSIVE

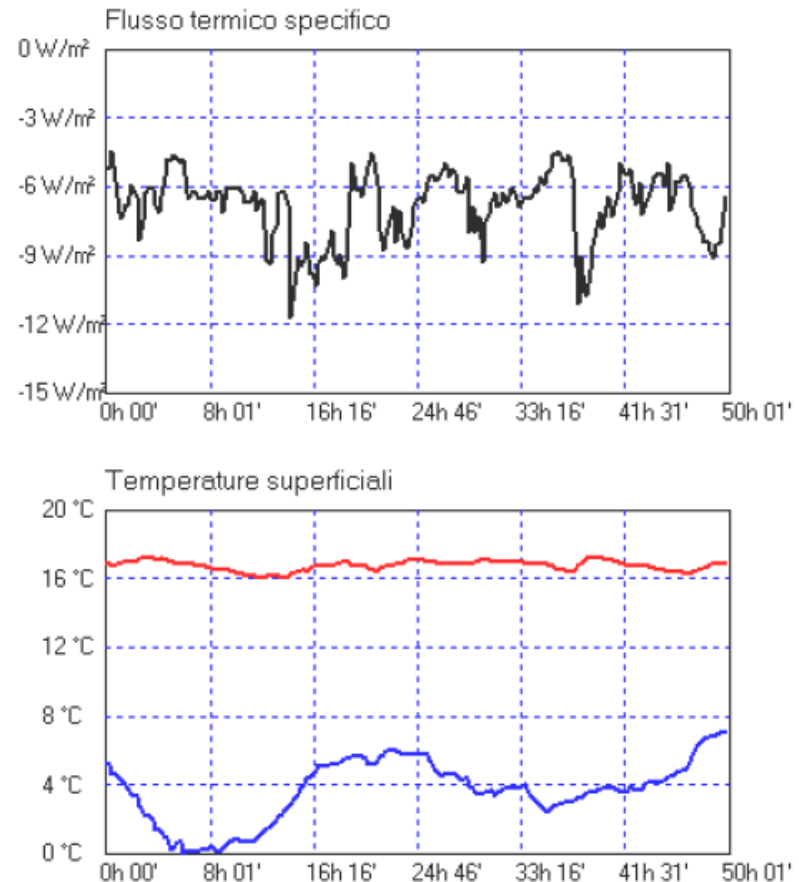
Parete edificio 1982 Milano

Nr. misurazioni = 201

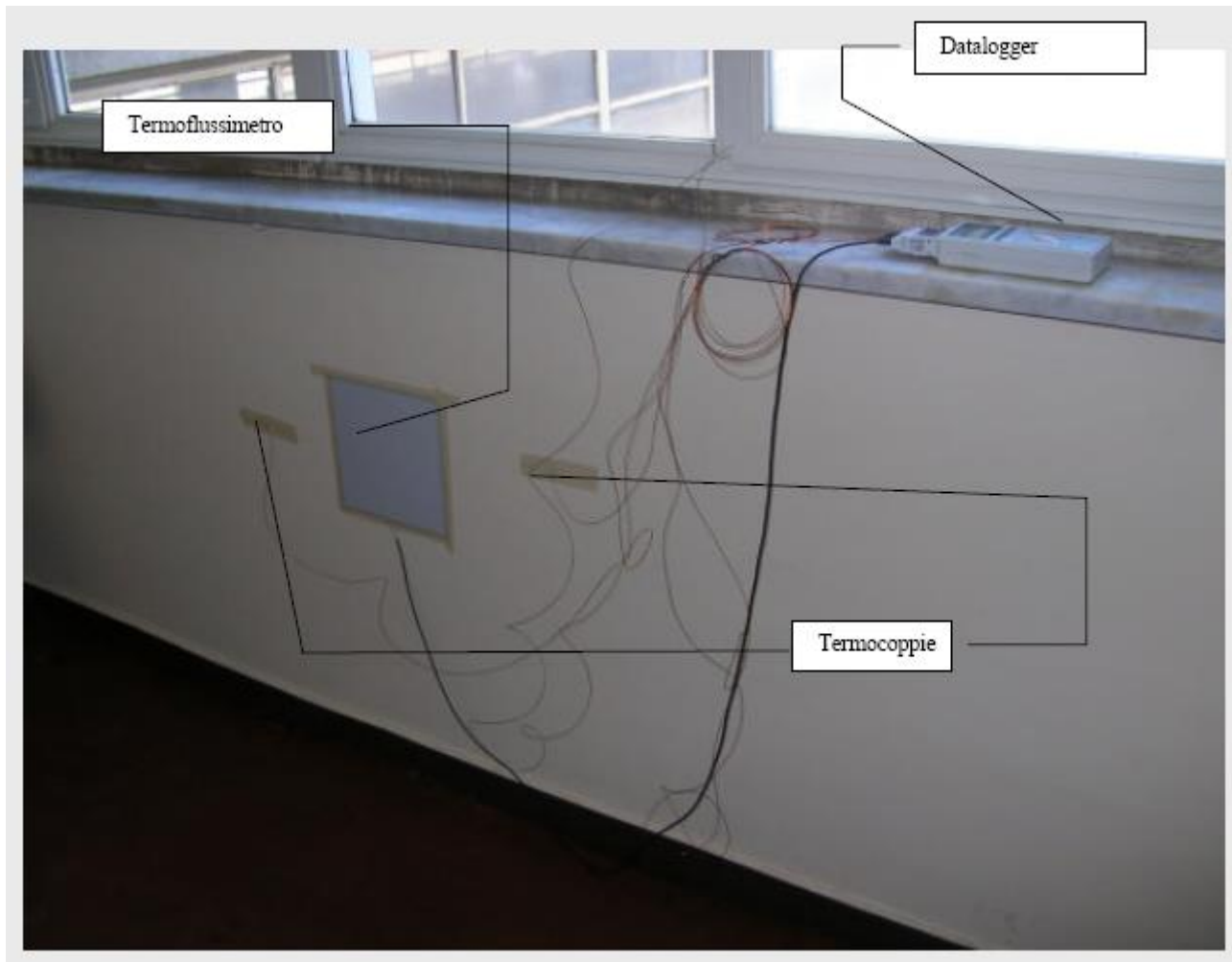
Passo temporale = 15 min

Tempo di misura = 2.1 giorni

Risultati istantanei di flusso termico specifico e della temperatura superficiale esterna e interna



TERMOFLUSSIMETRO – MEDIE PROGRESSIVE



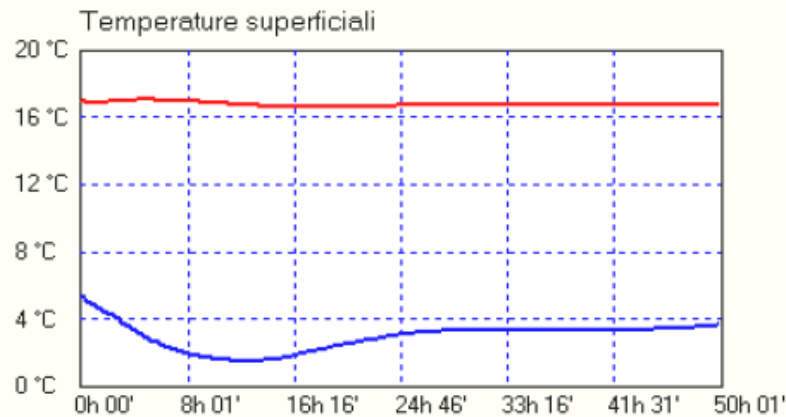
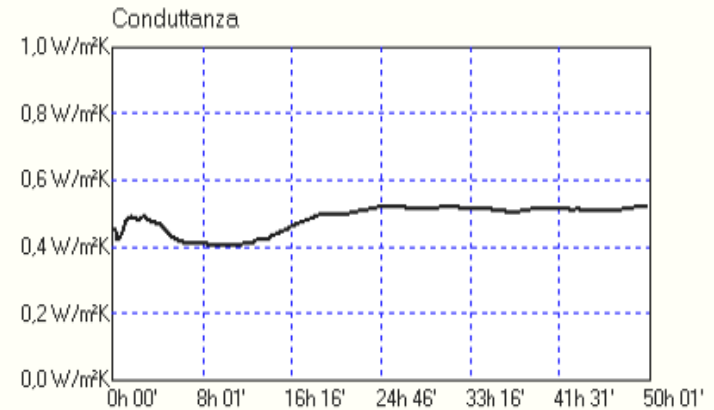
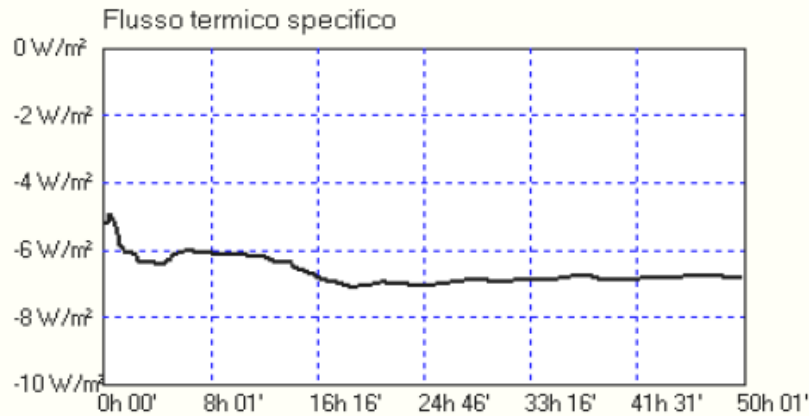
TERMOFLUSSIMETRO – MEDIE PROGRESSIVE

Conduttanza istantanea non restituisce valori affidabili



TERMOFLUSSIMETRO – MEDIE PROGRESSIVE

Metodo delle medie progressive



Valutazione:
 $U = 0.522 \text{ W/m}^2\text{K}$

TERMOGRAFIA

La termografia sfrutta la proprietà di tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto ($-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$) 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.

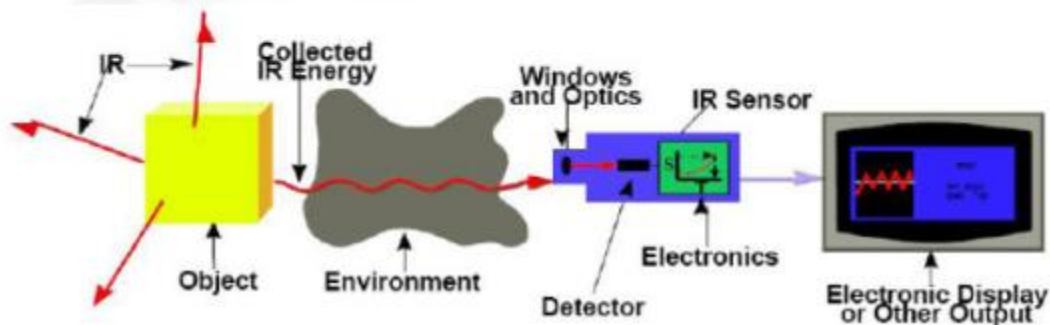
Le termocamere hanno sensori che rilevano 19.200 (160x120), 76.800 (320x240) o 307.200 (640x480) punti di misura, che si trasformano in pixel di una immagine radiometrica, permettendo quindi di ricavare la mappa termica della struttura ripresa.

TERMOGRAFIA



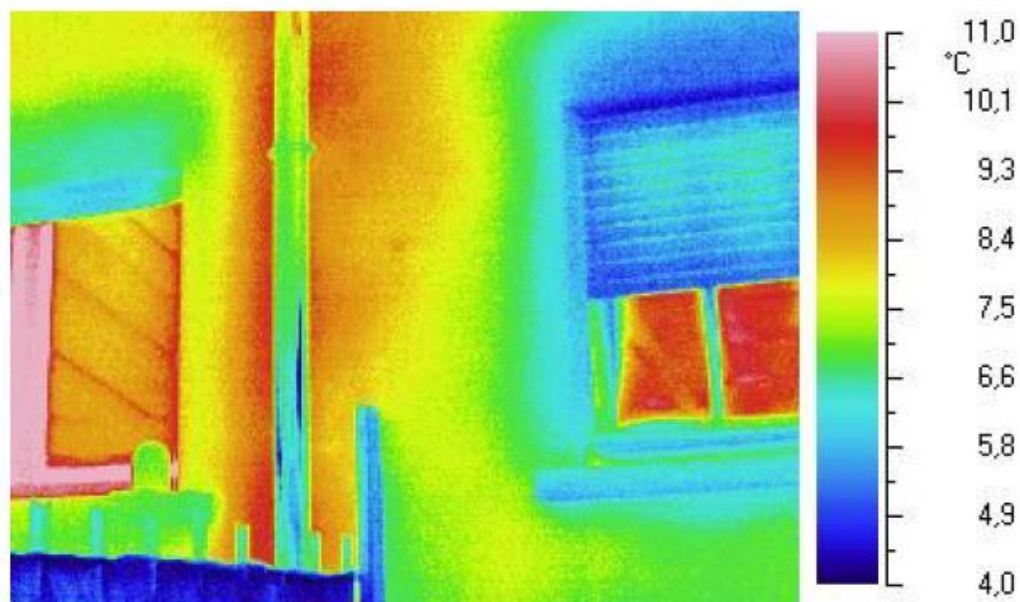
La **telecamera termografica a infrarossi** (o **termocamera**) rileva tali frequenze ed assegna un colore ad ogni temperatura, tramite l'elaborazione e la conversione di un segnale elettronico.

In realtà essa non misura propriamente la temperatura T bensì la intensità di radiazione I emessa dal corpo.



TERMOGRAFIA

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.



TERMOGRAFIA

Poiché la radiazione è una funzione della temperatura superficiale degli oggetti, è possibile per la fotocamera calcolare e visualizzare questa temperatura.

Tuttavia, la *radiazione rilevata* dalla telecamera non è unicamente dipendente dalla temperatura degli oggetti, ma è **anche determinata dall'emissività**. Inoltre, anche la radiazione originata dall'ambiente circostante viene riflessa sull'oggetto. Entrambe le radiazioni sono influenzate dall'assorbimento da parte dell'atmosfera. Per misurare accuratamente la temperatura è quindi necessario compensare gli effetti di un certo numero di sorgenti. Pertanto nella misura della temperatura assoluta sono da considerare molteplici parametri quali:

- ✓ **emissività della superficie misurata**
- ✓ **riflessioni delle superfici circostanti**
- ✓ **angolo di misura**
- ✓ **umidità relativa e temperatura ambiente**

TERMOGRAFIA

In particolare l'emissività dipende da:

- ✓ Materiale: differente materiale = differente emissività
- ✓ Struttura della superficie: liscia, lucida, ruvida, opaca, etc.
- ✓ Geometria: forma, fori, angoli, cavità, etc.

Non metalli (plastica, legno, ceramica, gomma)

Normalmente hanno un elevato fattore di emissività (0,80 - 0,95)

Normalmente hanno piccole variazioni tra i differenti campioni

Normalmente hanno piccole variazioni nel tempo

Metalli (rame, alluminio, ferro, stagno)

Metalli puri, rettificati, non ossidati hanno valori molto bassi, fino a 0.05

Metalli fortemente ossidati hanno un alto valore di emissività, 0.95

Quindi, l'emissività superficiale varia tra questi valori in funzione del grado di ossidazione della superficie in oggetto

Tutti gli altri fattori (struttura della superficie, geometria, etc.)

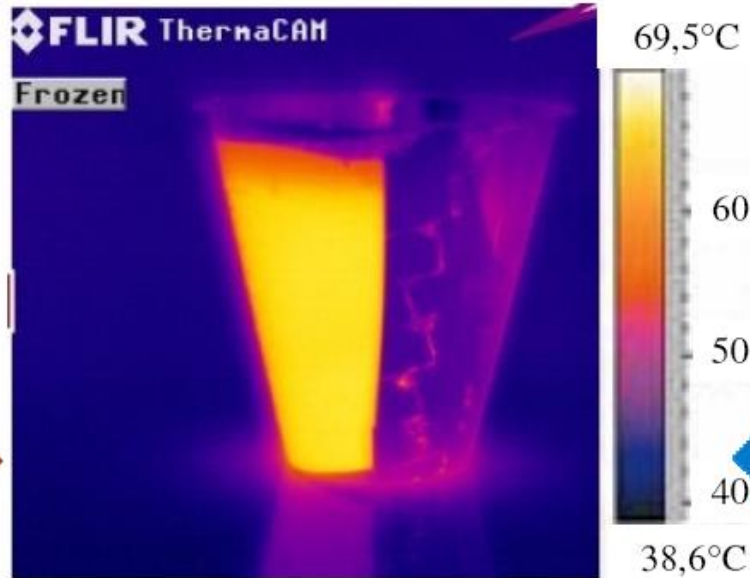
TERMOGRAFIA

*Tazza inox
riempita di acqua
bollente*



**La differenza di temperatura tra la parte
destra e sinistra dell'oggetto è solo
apparente. In realtà solo l'emissività
cambia**

Alta
emissività



Bassa
emissività



TERMOGRAFIA

Metalli e loro ossidi		Temp °C	Emissività
Alluminio	Foglio di alluminio	20	0.04
	Patinato (per esposizione all'aria)	20	0.83-0.94
Rame	Lucidato	100	0.05
	Molto ossidato	20	0.78
	Stampo ossidato	100	0.64
	Foglio, molto arrugginito	20	0.69-0.96
Nichel	Placcato, lucidato	20	0.05
Acciaio inossidabile (tipo 18-8)	Lucidato	20	0.16
	Ossidato	60	0.85
Acciaio	Lucidato	100	0.07
	Ossidato	200	0.79
Altri materiali		Temp °C	Emissività
Mattone	Rosso comune	20	0.93
Fuliggine		20	0.95
Calcestruzzo	Asciutto	35	0.95
Vetro	Trasparente	35	0.97
Olio	Lubrificante	17	0.87
	Spessore 0.03 mm	20	0.27
	Spessore 0.13 mm	20	0.72
	Strato spesso	20	0.82
Vernice, olio	Media di 16 colori	20	0.94
Carta	Bianca	20	0.07-0.90
Intonaco		20	0.86-0.90
Gomma	Nero 5	20	0.95
Pelle	Umana	32	0.98
Suolo	Asciutto	20	0.92
	Saturo d'acqua	20	0.95
Acqua	Distillata	20	0.96
	Cristalli di ghiaccio	-10	0.98
	Neve	-10	0.85
Legno	Quercia piallata	20	0.90

TERMOGRAFIA

Notare le conseguenze sulla misura di temperatura dello stesso oggetto ripreso con due immagini termiche che, a parità di tutte le altre impostazioni (temp. riflessa, obiettivo, distanza ecc), hanno un diverso valore impostato di emissività.



Foto visiva del particolare

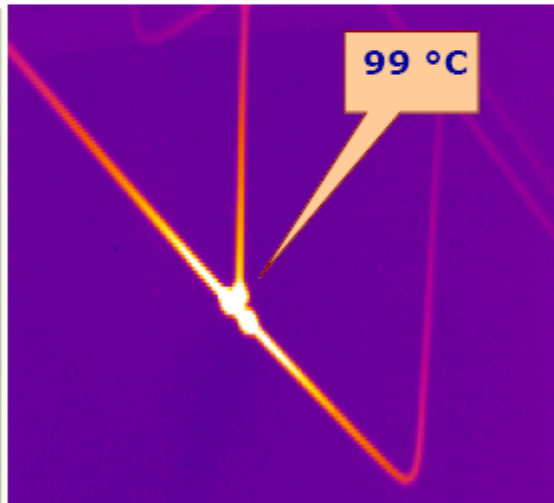


Foto termica 1:
Emissività = 0,50

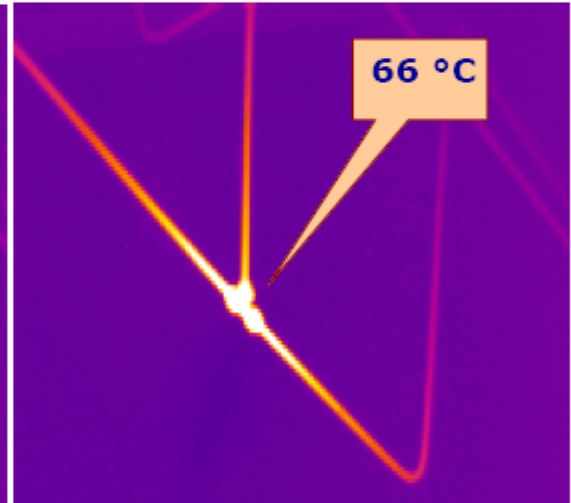
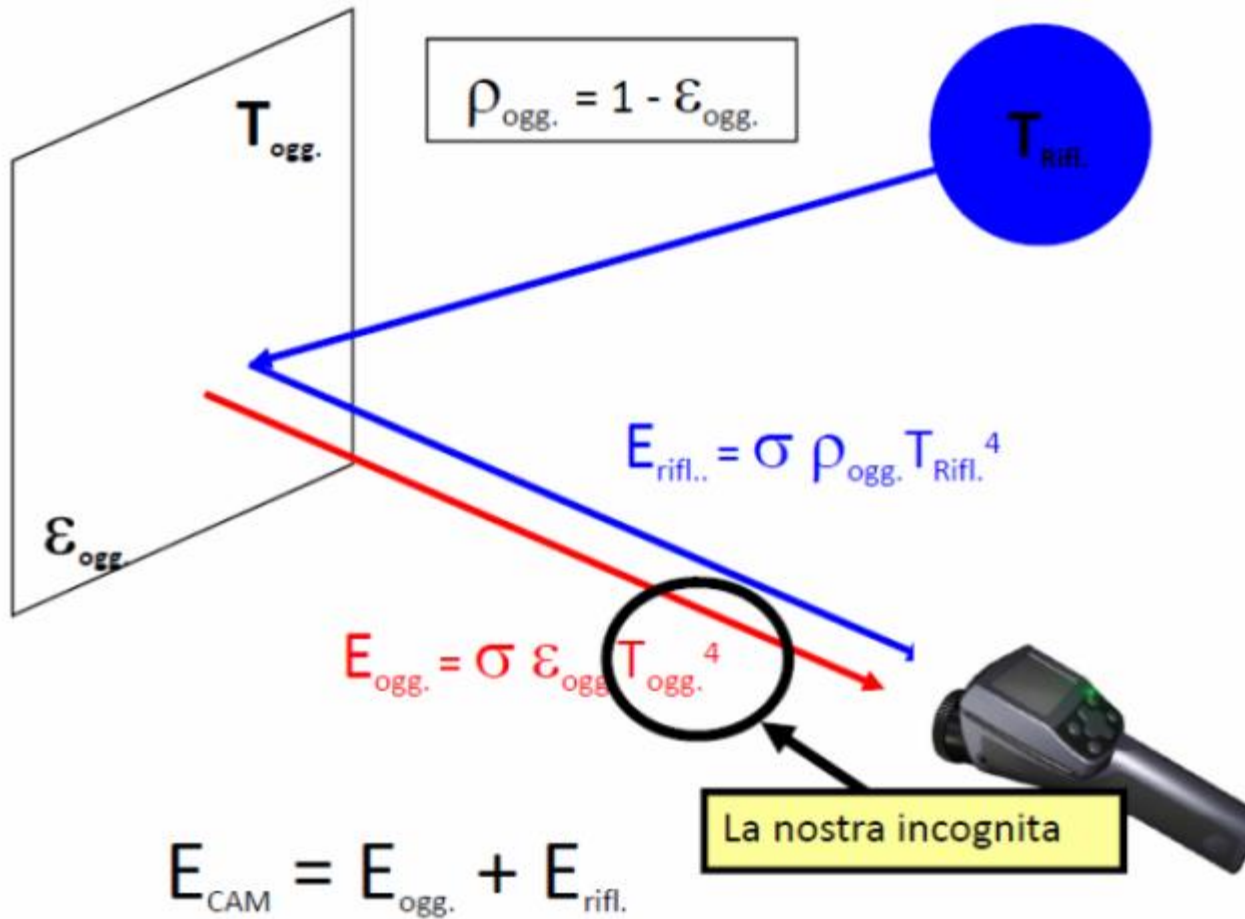


Foto termica 2:
Emissività = 0,90

TERMOGRAFIA



TERMOGRAFIA

Correlazione tra emissione e riflessione

1. Gli oggetti di misura con emissività elevata ($\varepsilon \geq 0,8$):
 - hanno un fattore basso di riflessione (ρ): $\rho = 1 - \varepsilon$.
 - La loro temperatura può essere misurata molto facilmente con la termocamera.

Correlazione tra emissione e riflessione

2. Gli oggetti di misura con emissività media ($0,8 > \varepsilon > 0,6$):
 - hanno un fattore medio di riflessione (ρ): $\rho = 1 - \varepsilon$.
 - la loro temperatura può essere misurata con la termocamera.

TERMOGRAFIA

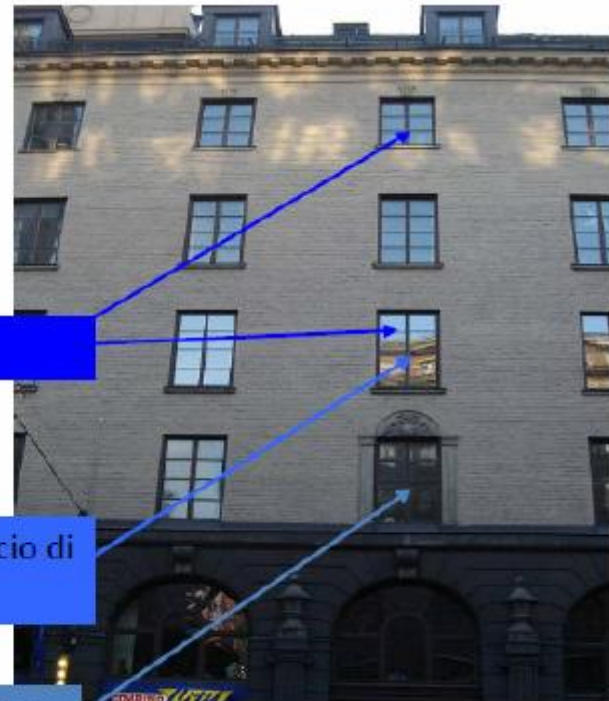
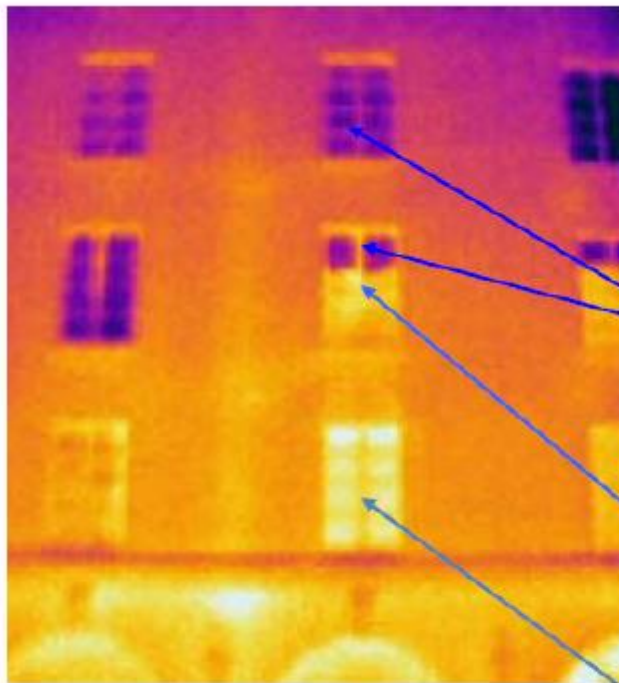
Correlazione tra emissione e riflessione

3. Gli oggetti di misura con emissività bassa ($\varepsilon \leq 0,6$)

- hanno un fattore elevato di riflessione (ρ): $\rho = 1 - \varepsilon$.
- la loro temperatura può essere misurata con la termocamera, ma è fondamentale impostare correttamente la RTC

RTC = Compensazione della Temperatura Riflessa

TERMOGRAFIA



Il cielo

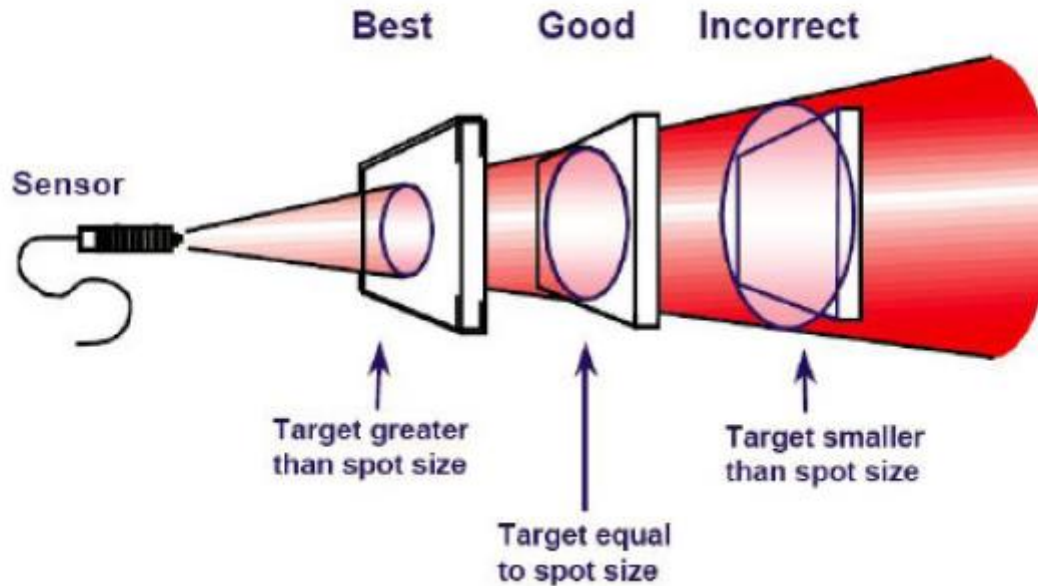
Il tetto dell'edificio di fronte

L'edificio di fronte

TERMOGRAFIA

Per una corretta misurazione la termocamera deve:

- ✓ essere disposta ortogonalmente alla superficie di misura
- ✓ inquadrare l'area di misura in modo da ridurre le influenze esterne, come riportato di seguito



TERMOGRAFIA

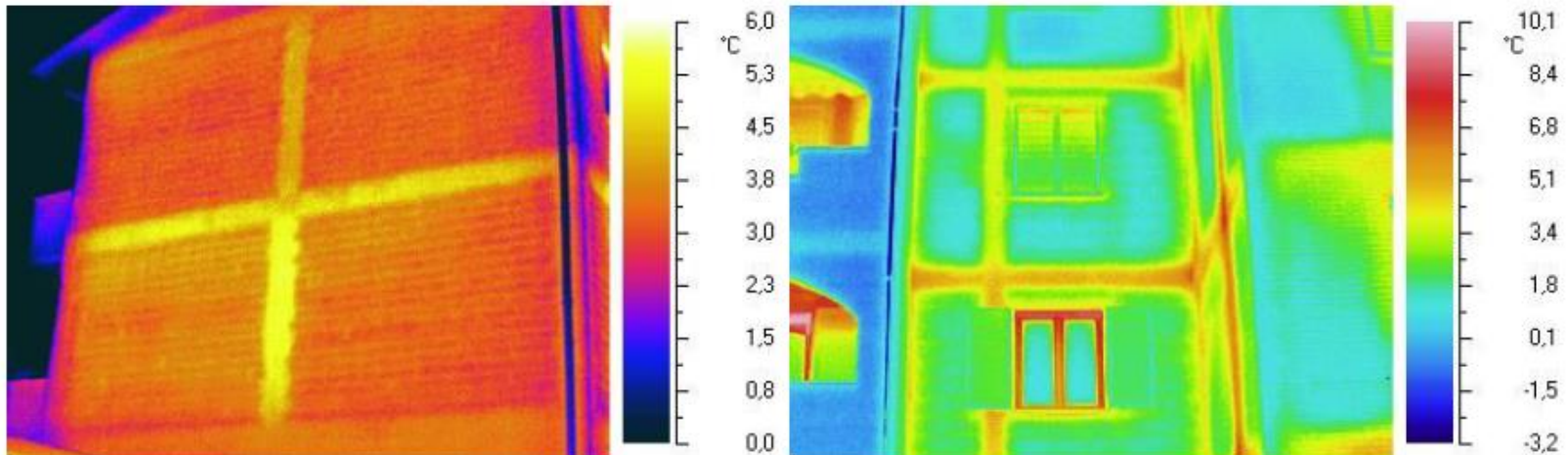
Le condizioni di misura ideali sono:

- Condizioni atmosferiche stabili;
- Cielo nuvoloso prima e durante la misura (per misure all'aperto);
- Assenza di luce solare diretta prima e durante la misura;
- Assenza di precipitazioni;
- Superficie dell'oggetto di misura asciutta e priva di fonti termiche d'interferenza (es. assenza di foglie sulla superficie);
- Assenza di vento o correnti d'aria;

Per la termografia edile, si raccomanda una differenza di almeno 15 °C tra la temperatura esterna e quella interna.

TERMOGRAFIA – PONTI TERMICI

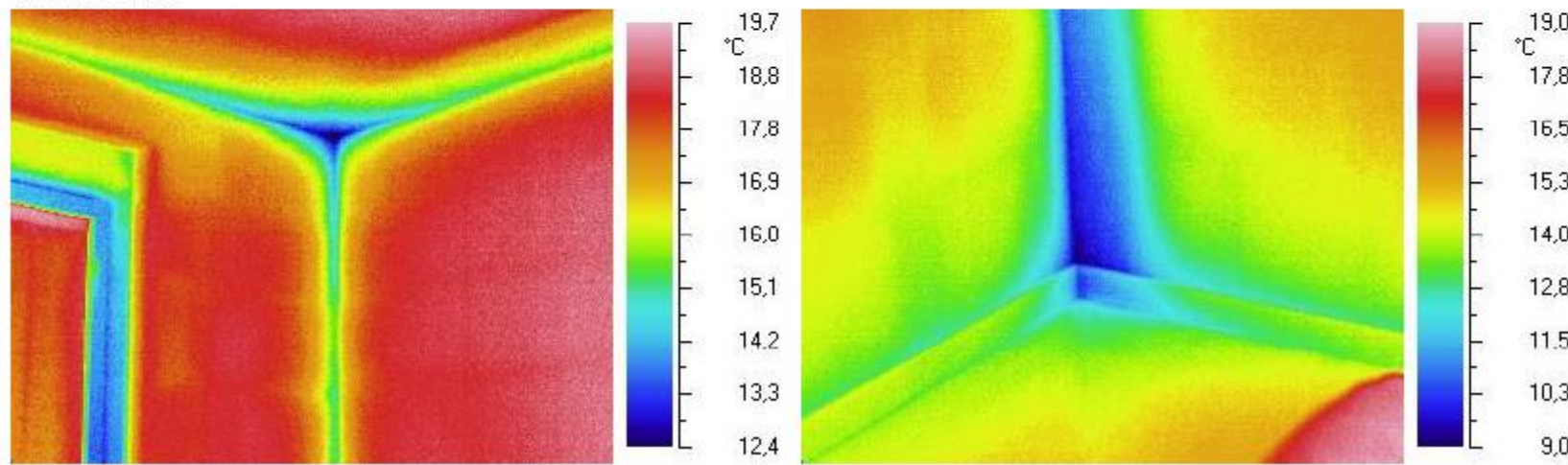
Ad una rilevazione termografica eseguita in regime stazionario e con una differenza di temperatura significativa tra interno ed esterno il ponte termico appare come una area a temperatura superiore rispetto alla muratura corrente, e pertanto disperde una maggiore potenza in ambiente. Nelle figure qui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



TERMOGRAFIA – 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.

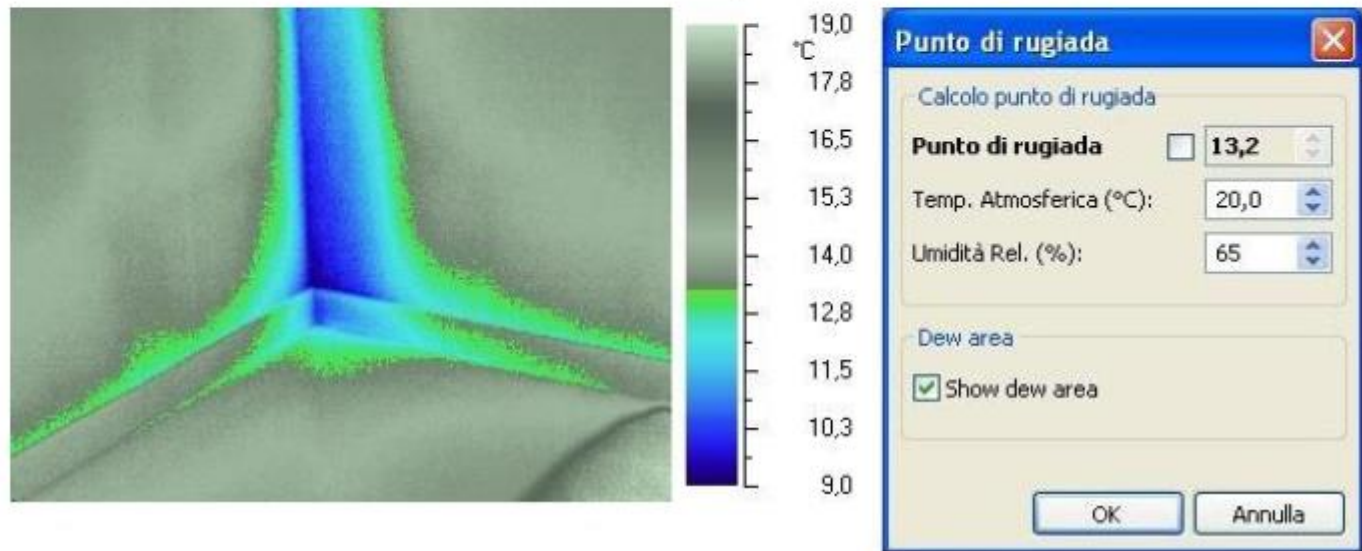
Le figure qui sotto mostrano, dall'interno di un edificio, i ponti termici all'intersezione tra muri e soletta/soffitto; nella figura a sinistra si può vedere, anche se solo parzialmente, il ponte termico di contorno della finestra.



TERMOGRAFIA – 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.

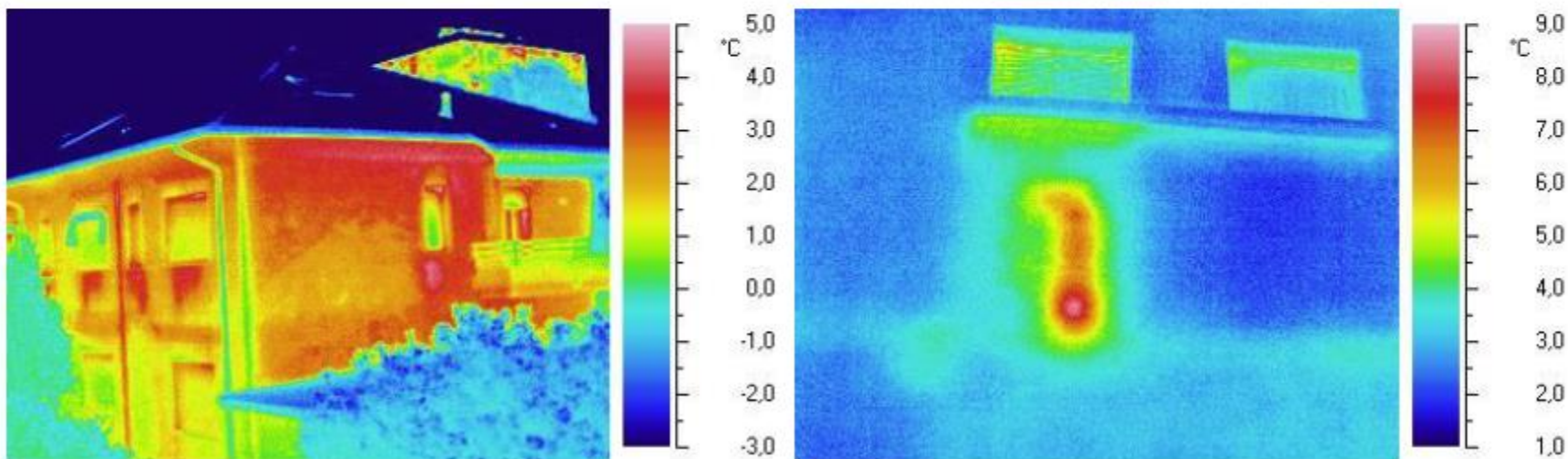
Nell'immagine qui sotto si è operata una separazione tra le aree a temperatura superiore a quella di saturazione (zona grigia) e quelle a temperatura inferiore ove invece si ha la possibilità di formazione di condensa.



TERMOGRAFIA – IRREGOLARITA' ISOLAMENTO

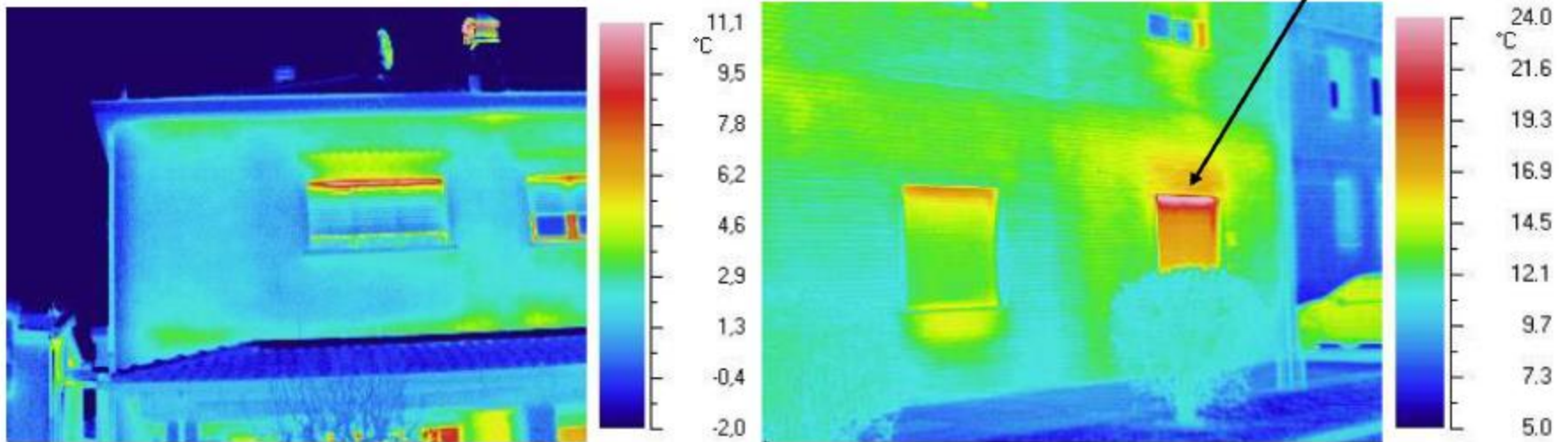
Oltre ai ponti termici si possono individuare altri punti che causano un aumento delle dispersioni energetiche verso l'ambiente.

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



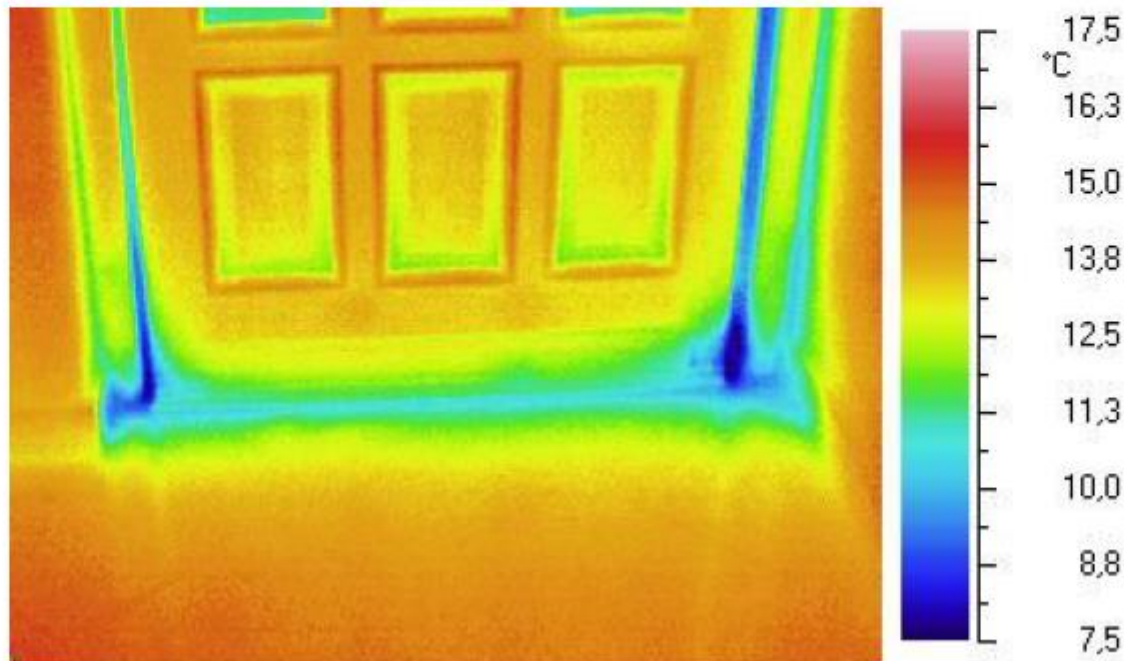
TERMOGRAFIA – IRREGOLARITA' ISOLAMENTO

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



TERMOGRAFIA – INFILTRAZIONE D'ARIA

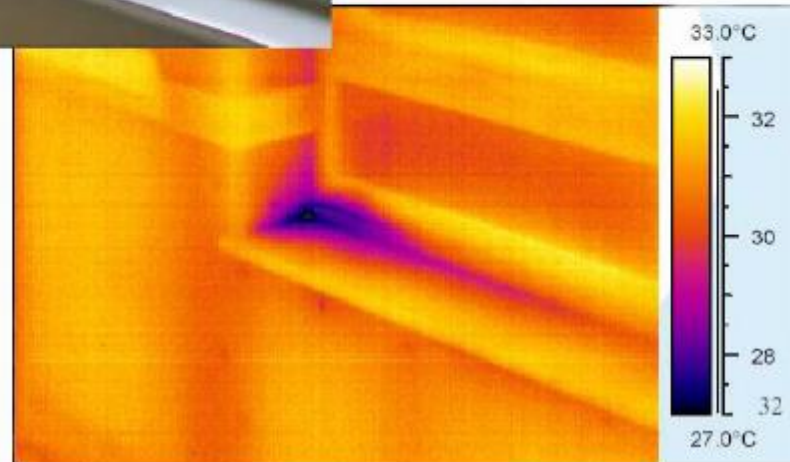
Le infiltrazioni di aria dai serramenti ed infissi non sono visibili direttamente, in quanto l'aria è trasparente agli infrarossi, ma indirettamente mediante il loro effetto di raffreddamento delle superfici lambite, come possiamo vedere in questo caso.



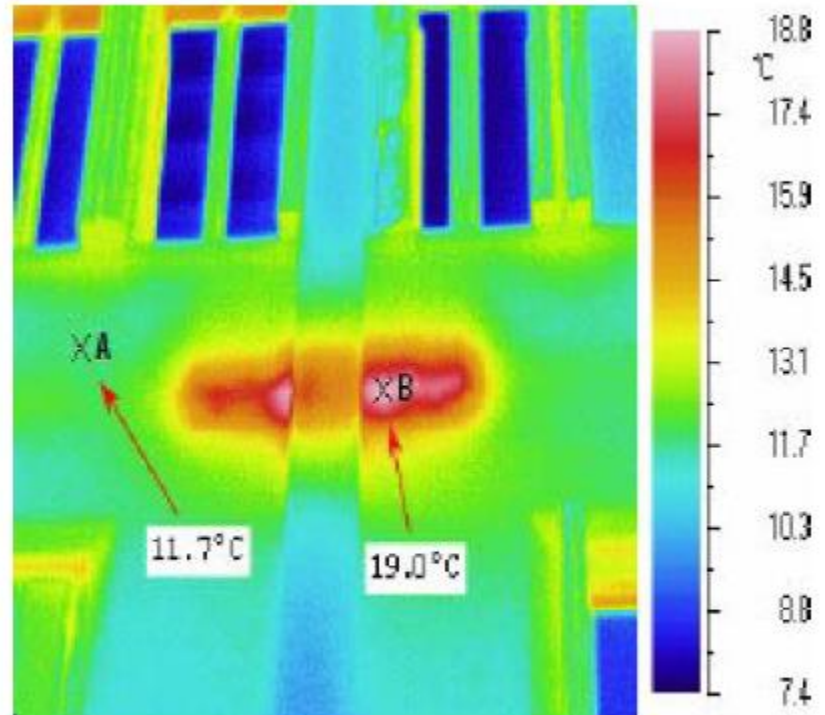
TERMOGRAFIA – INFILTRAZIONE D'ARIA



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



TERMOGRAFIA – TUBAZIONI NON ISOLATE



Individuazione tramite termografia di tubazioni non isolate.

TERMOGRAFIA – VERIFICHE SU IMPIANTI



Immagine visibile

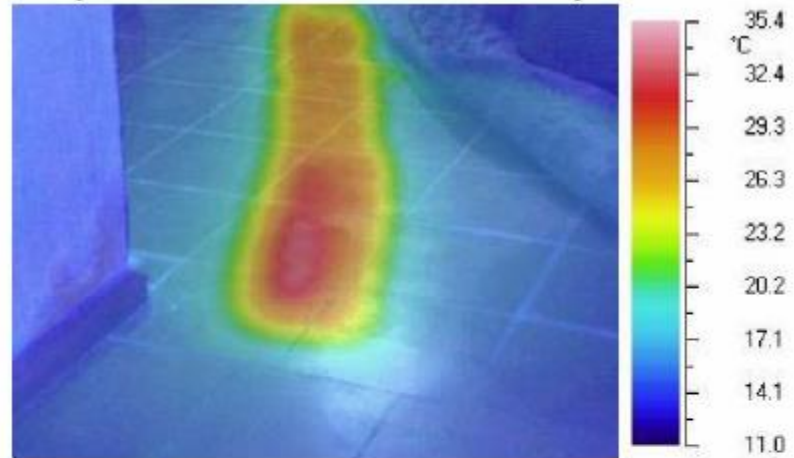


Immagine Fusion

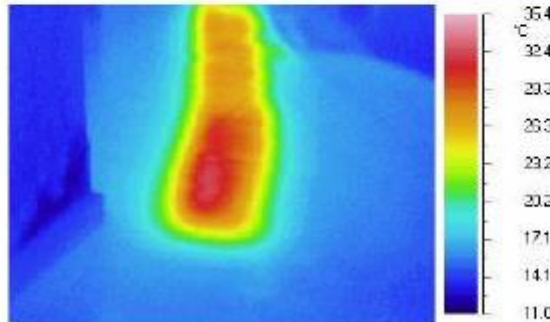
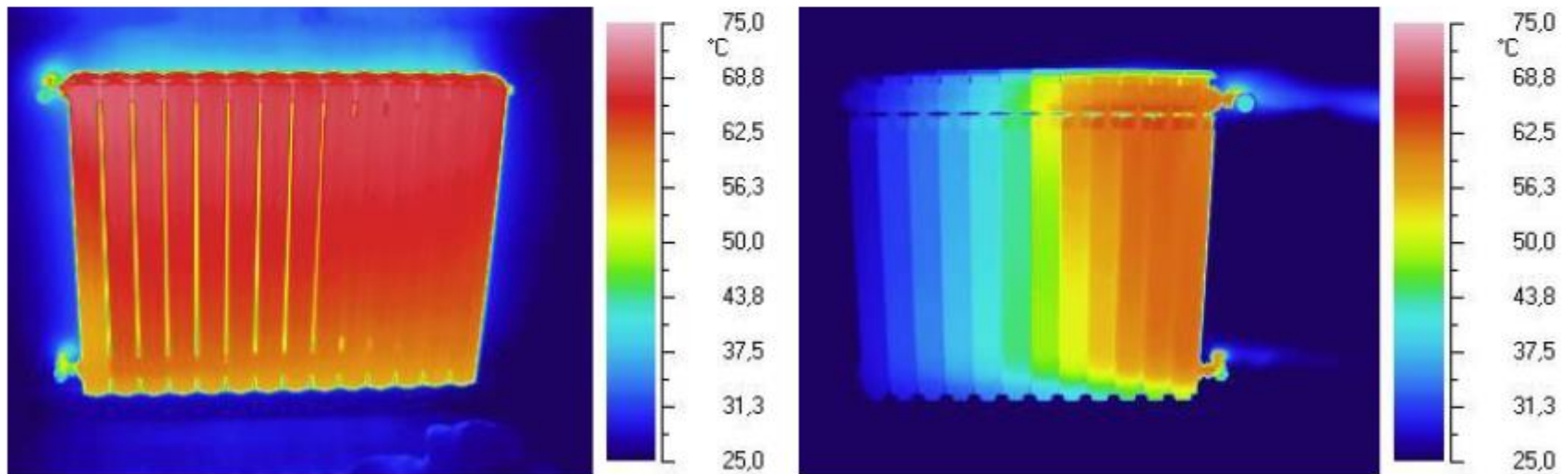


Immagine Infrarosso

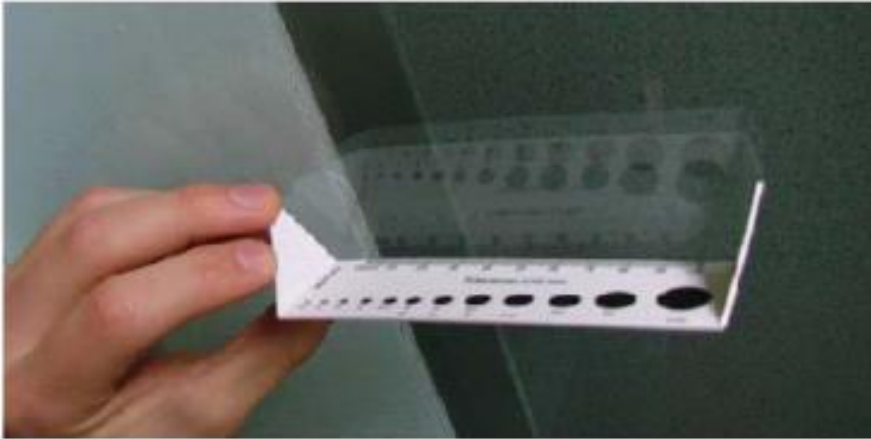
Individuazione tramite termografia di una micro perdita nel pavimento.

TERMOGRAFIA – VERIFICHE SU IMPIANTI

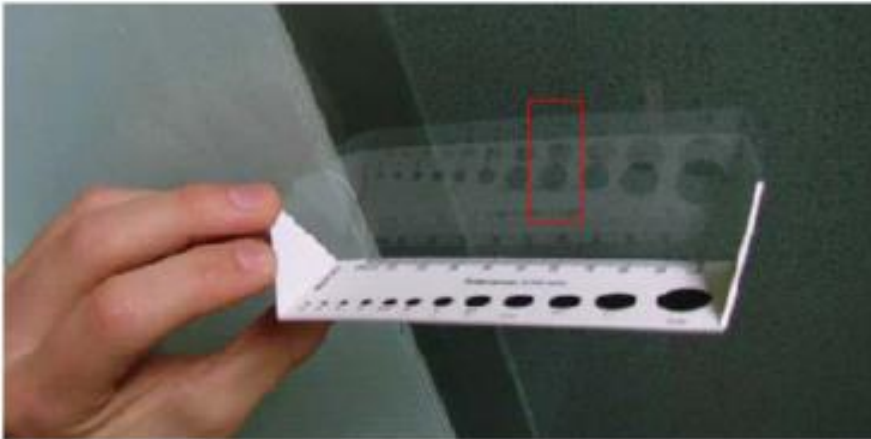
Nelle figure qui riportate sono rispettivamente rappresentati un radiatore con funzionamento regolare ed uno con un malfunzionamento che ne compromette l'efficienza; le due immagini sono riprodotte con la medesima scala di temperatura, e pertanto sono direttamente confrontabili.



FINESTRE

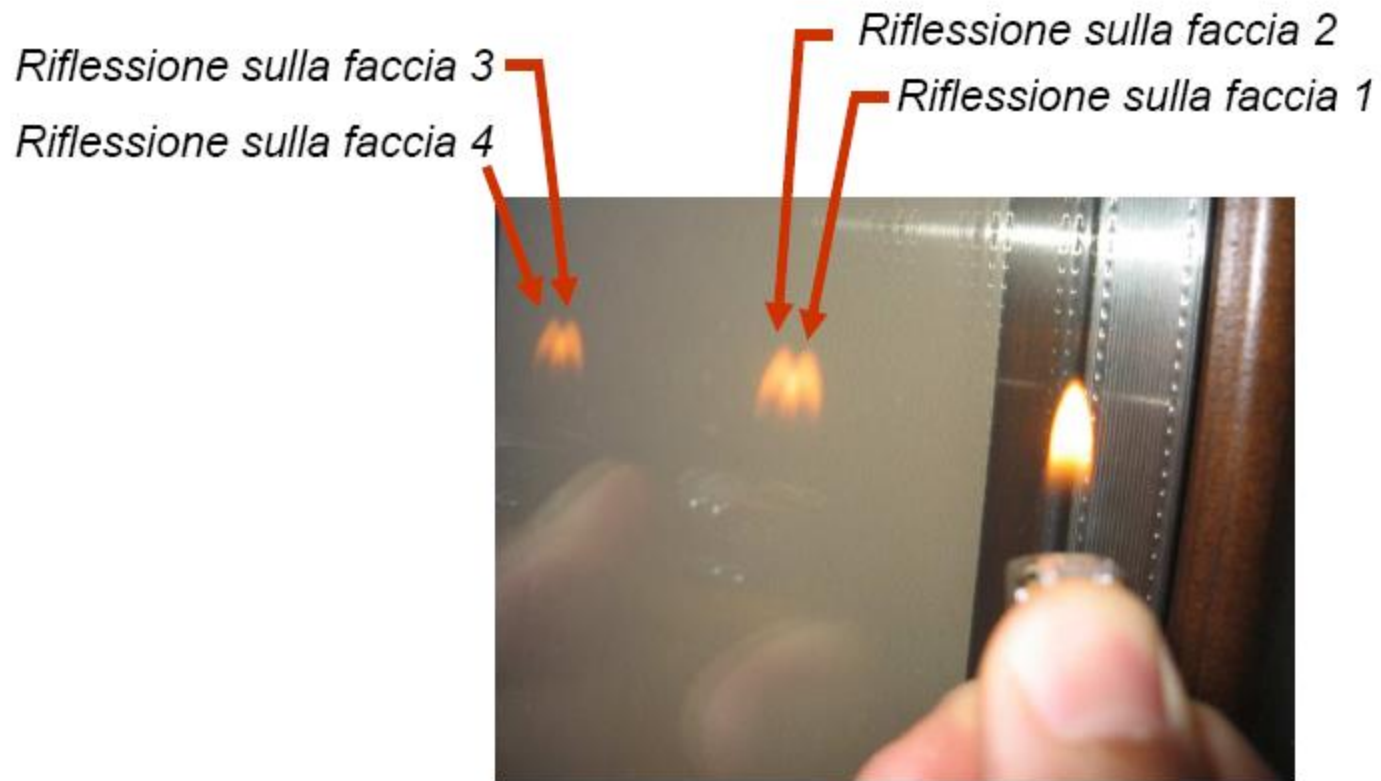


Misuratore dello spessore della lastra



Spessore della lastra =
Dove si incontrano i
due cerchi riflessi

FINESTRE



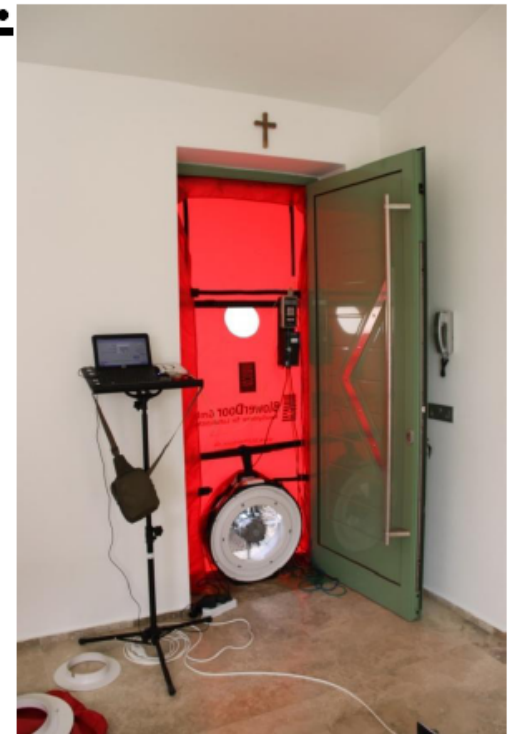
PERMEABILITÀ ALL'ARIA

Il **BLOWER DOOR** è un sistema per la verifica della permeabilità all'aria di edifici residenziali, terziari ed industriali di qualsiasi dimensione.

PERMEABILITÀ ALL'ARIA

Il **BLOWER (ventilatore) DOOR (porta)** è detto anche porta ventilante.

In pratica è un grande ventilatore calibrato a controllo elettronico che viene montato temporaneamente (e tipicamente) sulla porta d'ingresso principale dell'edificio, attraverso una pannello che si adatta alle misure della porta e la sigilla perfettamente.



PERMEABILITÀ ALL'ARIA

La norma **UNI EN ISO 13829** lo definisce come il metodo di pressurizzazione mediante ventilatore finalizzato alla **determinazione della permeabilità** dell'involucro edilizio o di parti di edificio.

metodo A

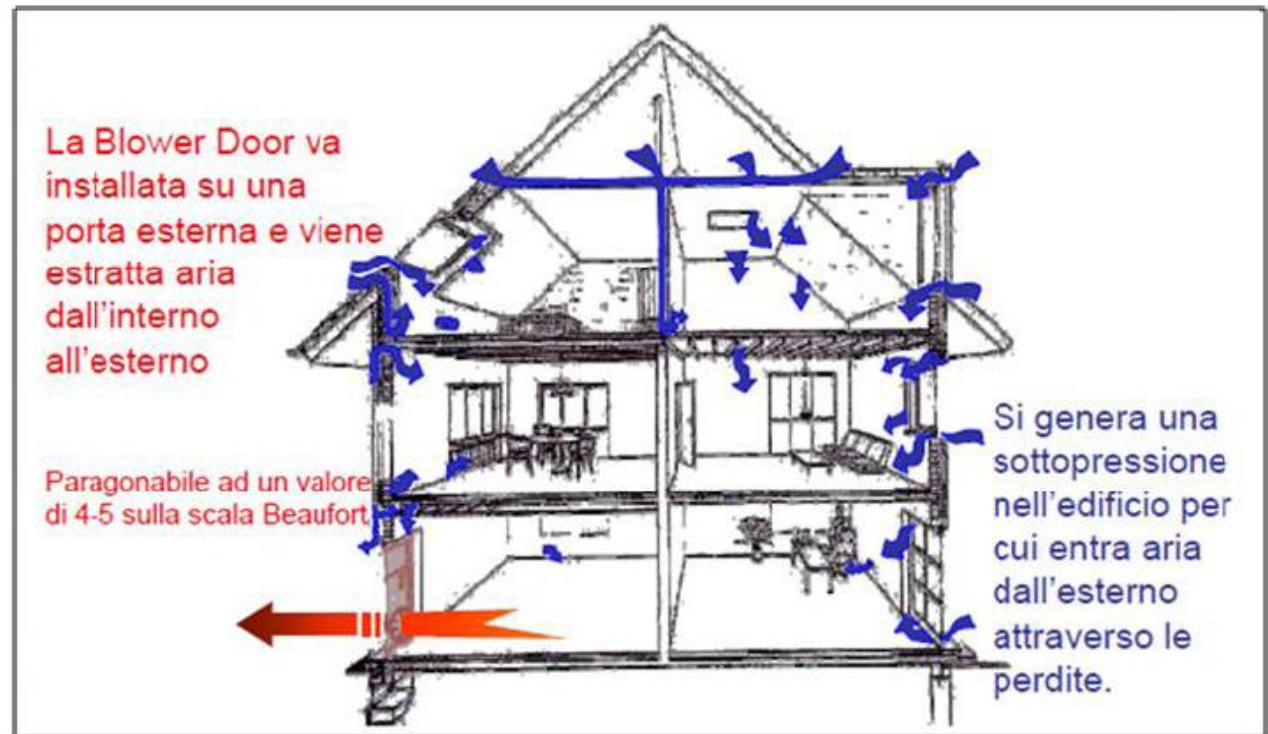
controllo dell'edificio nello stato finale (casa abitata)

metodo B

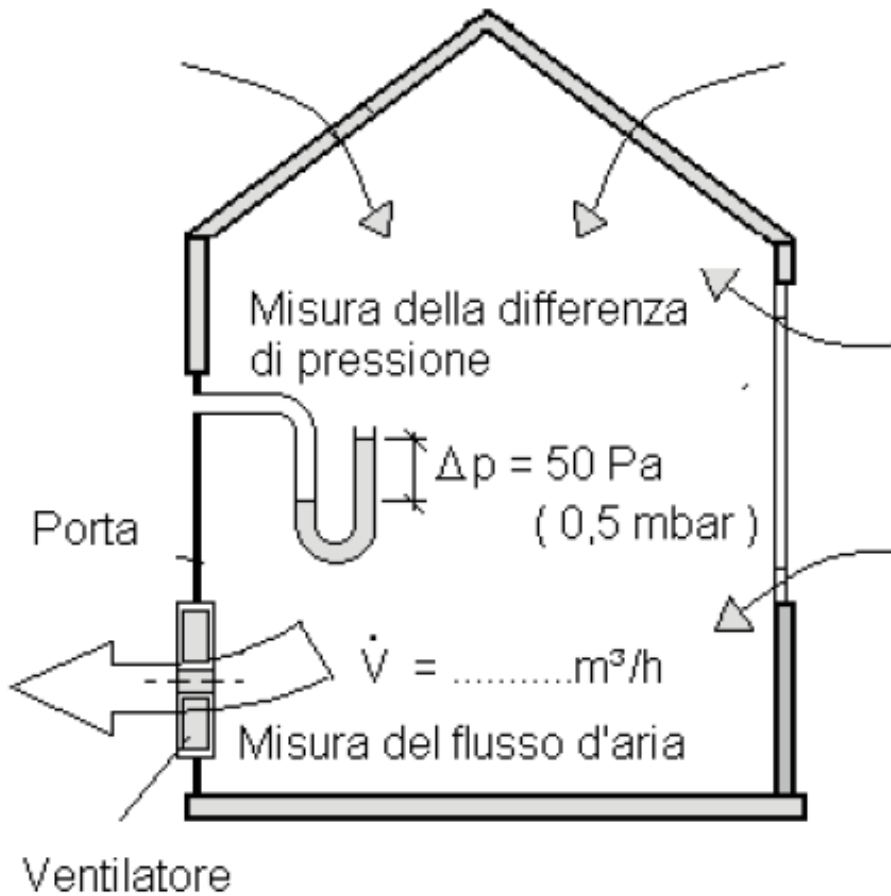
controllo dell'edificio durante i lavori di costruzione

PERMEABILITÀ ALL'ARIA

Per la verifica delle infiltrazioni di aria, il **BLOWER DOOR** usa misurare la pressione interna ed esterna all'edificio (che deve essere completamente sigillato) ed il flusso d'aria generato dal ventilatore.



PERMEABILITÀ ALL'ARIA



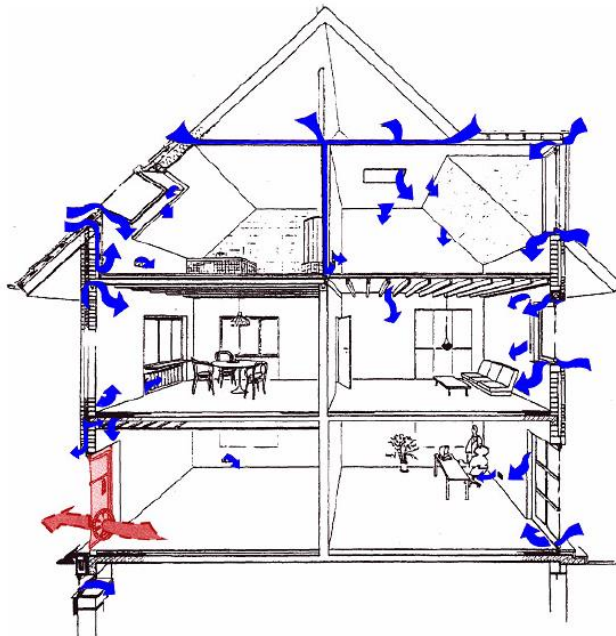
PERMEABILITÀ ALL'ARIA

Una volta che il ventilatore (aspirando o insufflando aria all'edificio) ha raggiunto una determinata differenza di pressione tra interno ed esterno (tipicamente 50 Pa), è possibile cercare le eventuali **infiltrazioni d'aria** da infissi, crepe, canalizzazioni, ecc., usando macchina termografica, termoanemometro e generatore di fumo.

PERMEABILITÀ ALL'ARIA

Nella seconda fase viene creata una depressione crescente, si parte da valori pari a circa 10, 30 Pa e si prosegue a passi di 5, 10 Pa sino a raggiungere un valore finale di 60,100 Pa. Per ogni passo verra' registrato e protocollato il flusso di volume d' aria.

Nella terza fase viene creata una sovrappressione (= depressione invertendo i lati) e le medesime misurazioni fatte nella fase 2 vengono ripetute.



PERMEABILITÀ ALL'ARIA

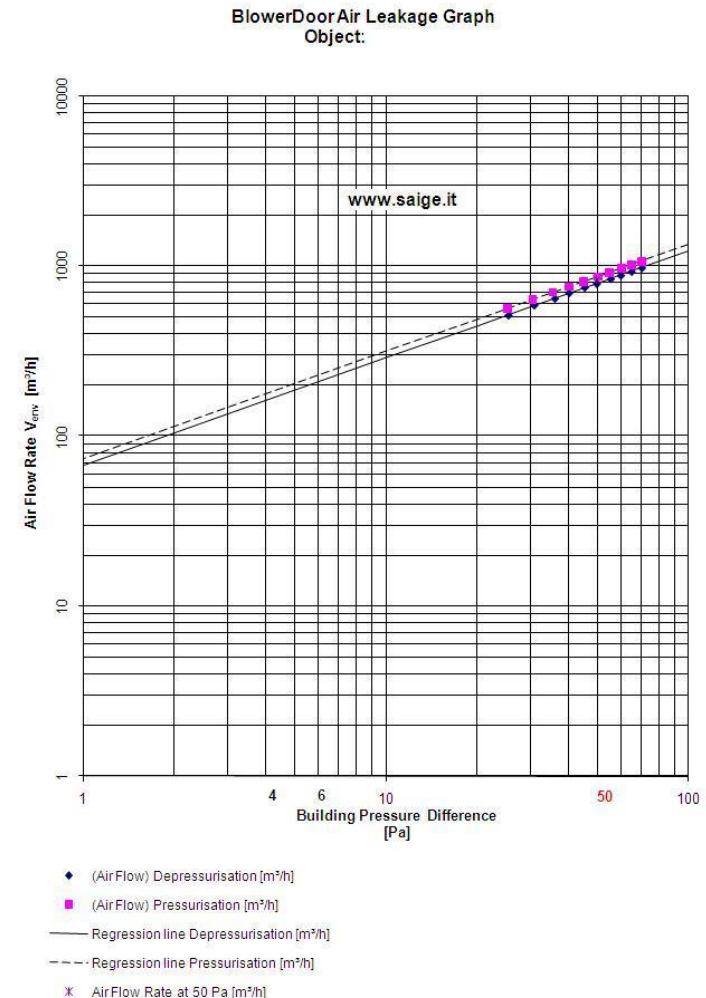
Al termine del blower door test si ha un grafico con un diagramma di regressione fra le differenze di pressioni (in ascissa) e la portata d'aria, sia con edificio in pressione positiva rispetto all'esterno (linea con quadrati viola) che con pressione negativa (linea con rombi blu).

$$n_{50} = V_{50}/V \text{ (h}^{-1}\text{)}$$

Portata di rinnovo dell'aria alla differenza di pressione di riferimento (50 Pa):

V_{50} = portata media di aria di infiltrazione a 50 Pa (m^3/h)

V = volume interno (m^3)

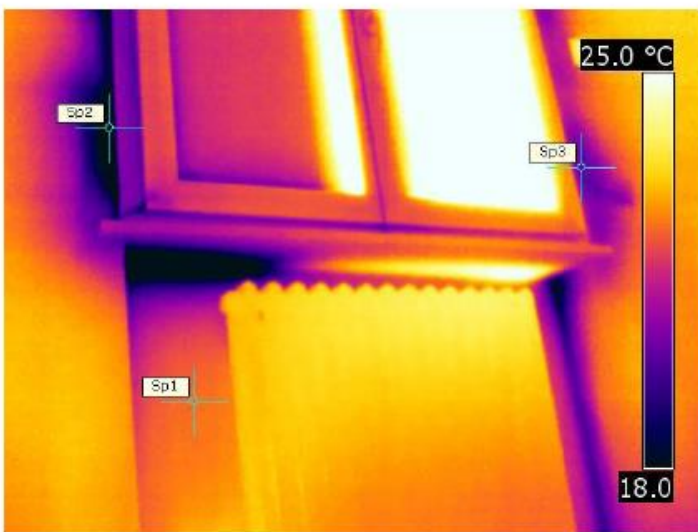


PERMEABILITÀ ALL'ARIA

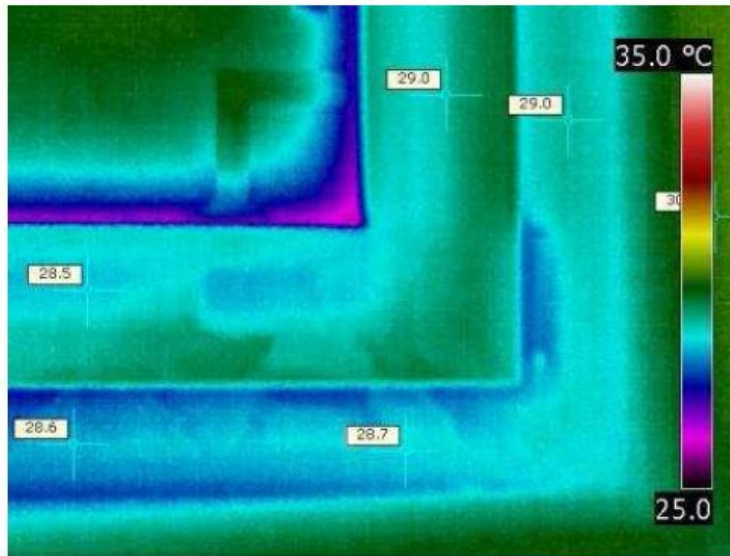
- $n_{50} < 0,6 \text{ l/h}$ **Ottima permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio:**
L'edificio o l'abitazione soddisfa i requisiti di permeabilità all'aria imposti dalla normativa sulle case passive.
- $n_{50} < 1,0 \text{ l/h}$ **Permeabilità all'aria molto elevata dell'involucro dell'edificio:**
L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN V 4108-7 per l'impiego di impianti di aerazioni meccanici. Questo valore di permeabilità deve essere ottenuto, con ventilazione attraverso la finestra, anche per gli edifici a basso consumo energetico e gli edifici esposti al vento. In caso di ventilazione attraverso la finestra, è necessario assicurare una sufficiente aerazione dell'ambiente.
- $1,0 \text{ l/h} < n_{50} < 2,0 \text{ l/h}$ **Permeabilità all'aria medio - alta dell'involucro dell'edificio**
L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN V 4108-7 per l'aerazione naturale, ad esempio attraverso le finestre. In caso di impiego di impianti di aerazione meccanici, secondo questa direttiva non deve essere superata una permeabilità all'aria n_{50} in base al volume di 1,0 all'ora.
- $2,0 \text{ l/h} < n_{50} < 4,0 \text{ l/h}$ **Permeabilità all'aria medio - bassa dell'involucro dell'edificio**
Le perdite di entità medio - elevate citate nel verbale di collaudo devono essere sigillate. Secondo la Direttiva DIN V 4108-7 per l'aerazione naturale, ad esempio attraverso le finestre, non deve essere superata una permeabilità all'aria n_{50} in base al volume di 3,0 all'ora.
- $4,0 \text{ l/h} < n_{50}$ **Permeabilità all'aria insufficiente dell'involucro dell'edificio:**
Si consiglia un'urgente risigillatura completa dell'edificio.

PERMEABILITÀ ALL'ARIA

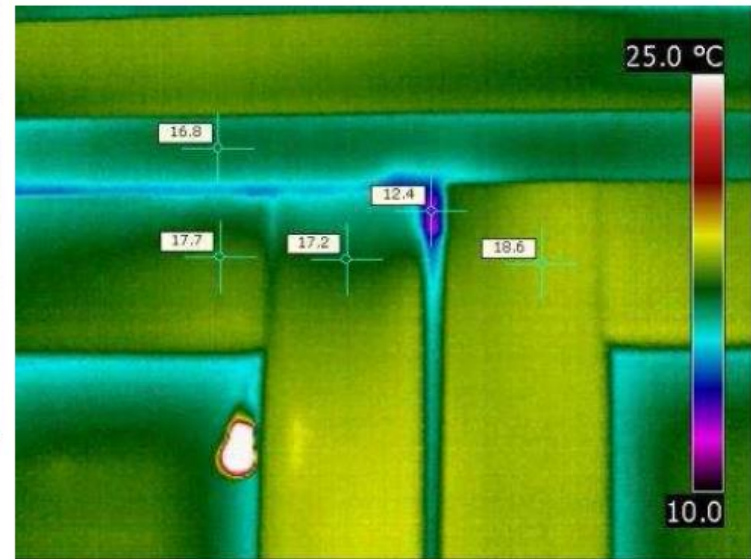
Tecnica termografica



PERMEABILITÀ ALL'ARIA

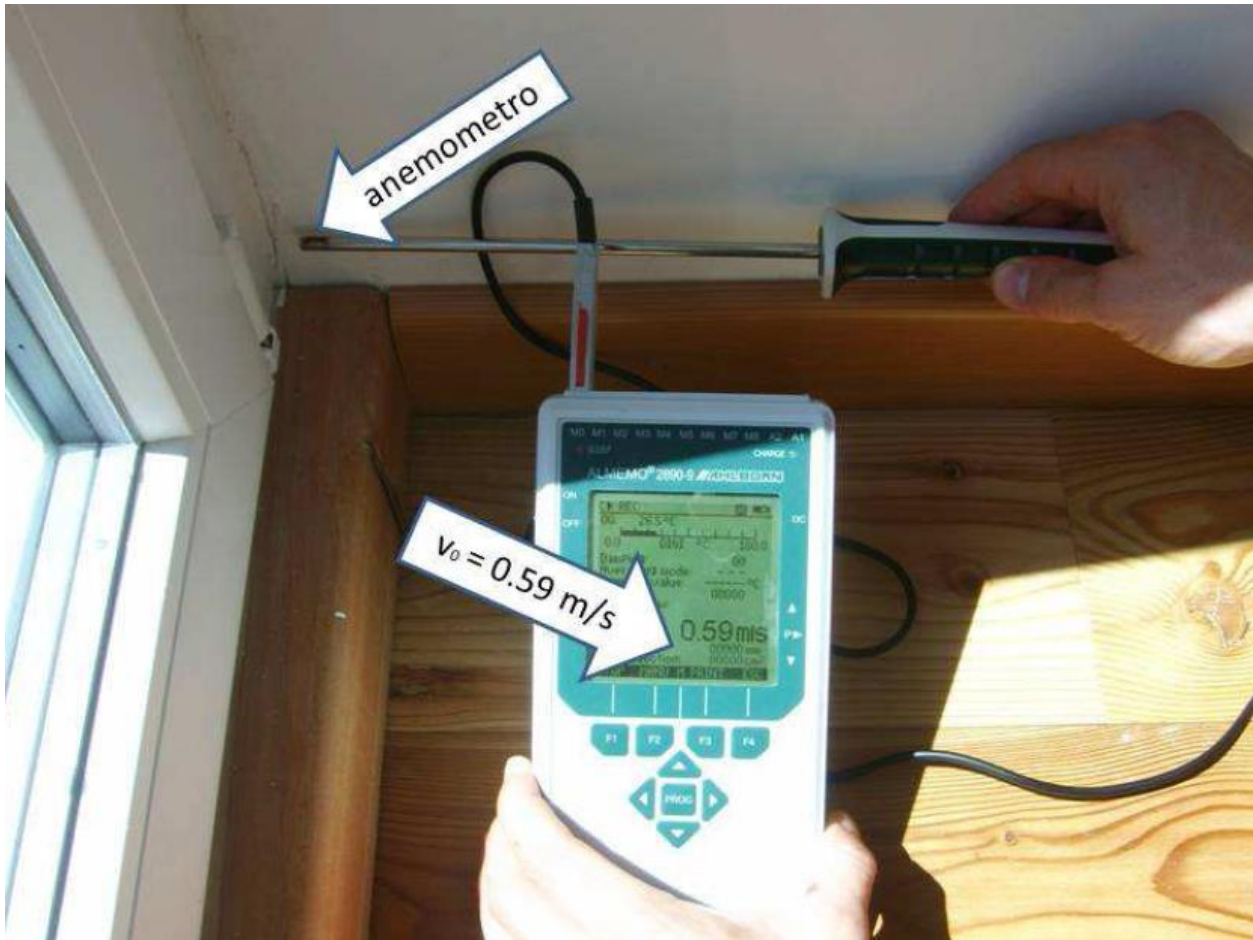


*Omogeneità della distribuzione della temperatura del serramento: ΔT_{max} tra telaio fisso e mobile = 0.2 C
Assenza di infiltrazioni d'aria esterna (T_{ae} = 10°C)*



*Disomogeneità della distribuzione della temperatura di un serramento che non chiude bene : ΔT tra telaio fisso e mobile = 5 °C
Presenza di infiltrazioni d'aria esterna (T_{ae} = 5°C)*

PERMEABILITÀ ALL'ARIA



PERMEABILITÀ ALL'ARIA

Generatore di nebbia



Visualizzazione dei flussi d'aria sugli elementi costruttivi con l'utilizzo del generatore di nebbia

COMPORTAMENTO DELL'UTENZA

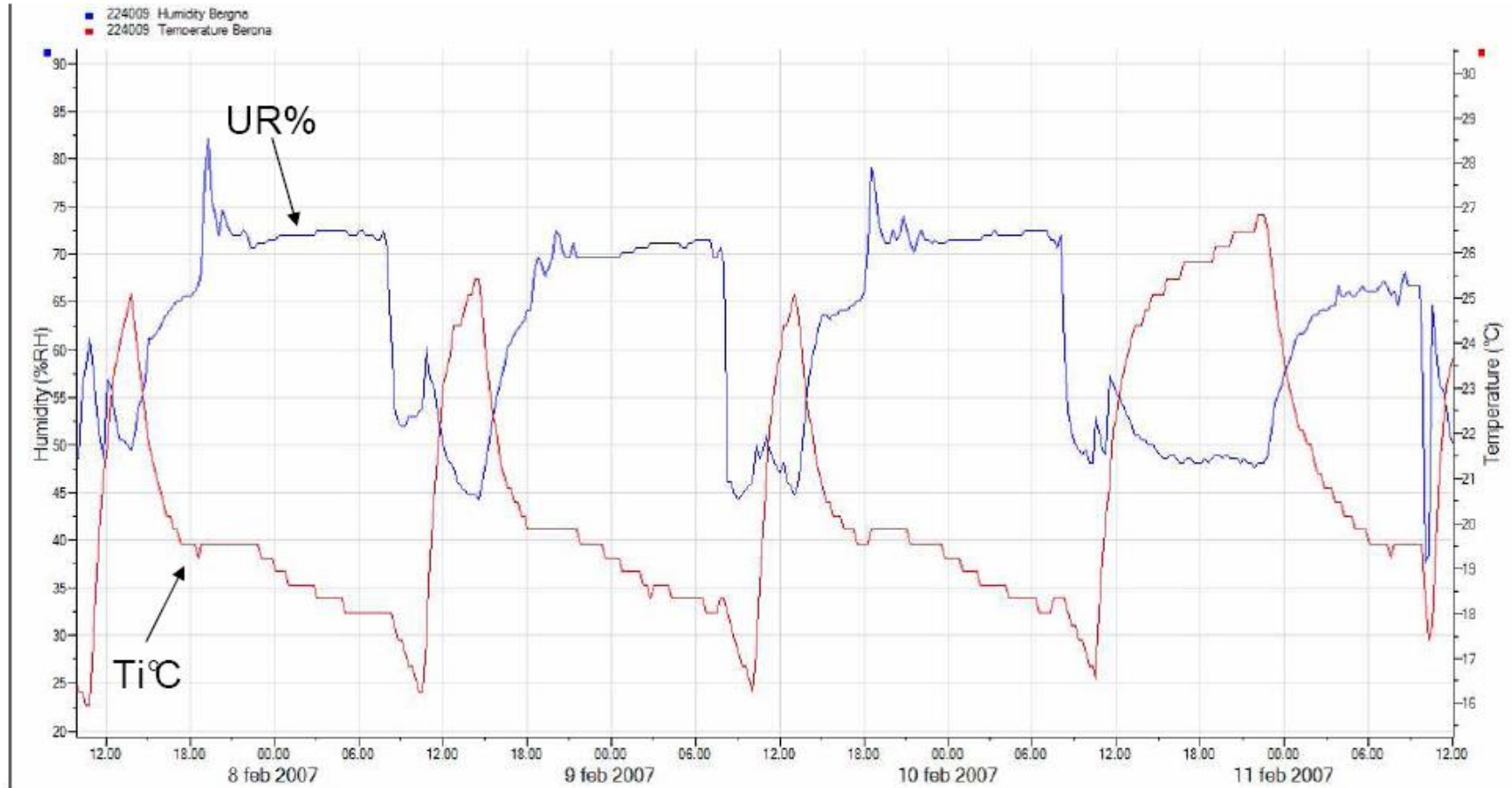
- Si registrano **temperatura dell'aria e umidità relativa interna** ed esterna e si interpreta la gestione dell'ambiente in esame
- Valutazione del comportamento dell'utenza: **ventilazione degli ambienti e accensione e spegnimento degli impianti**



Termoigrometri registratori

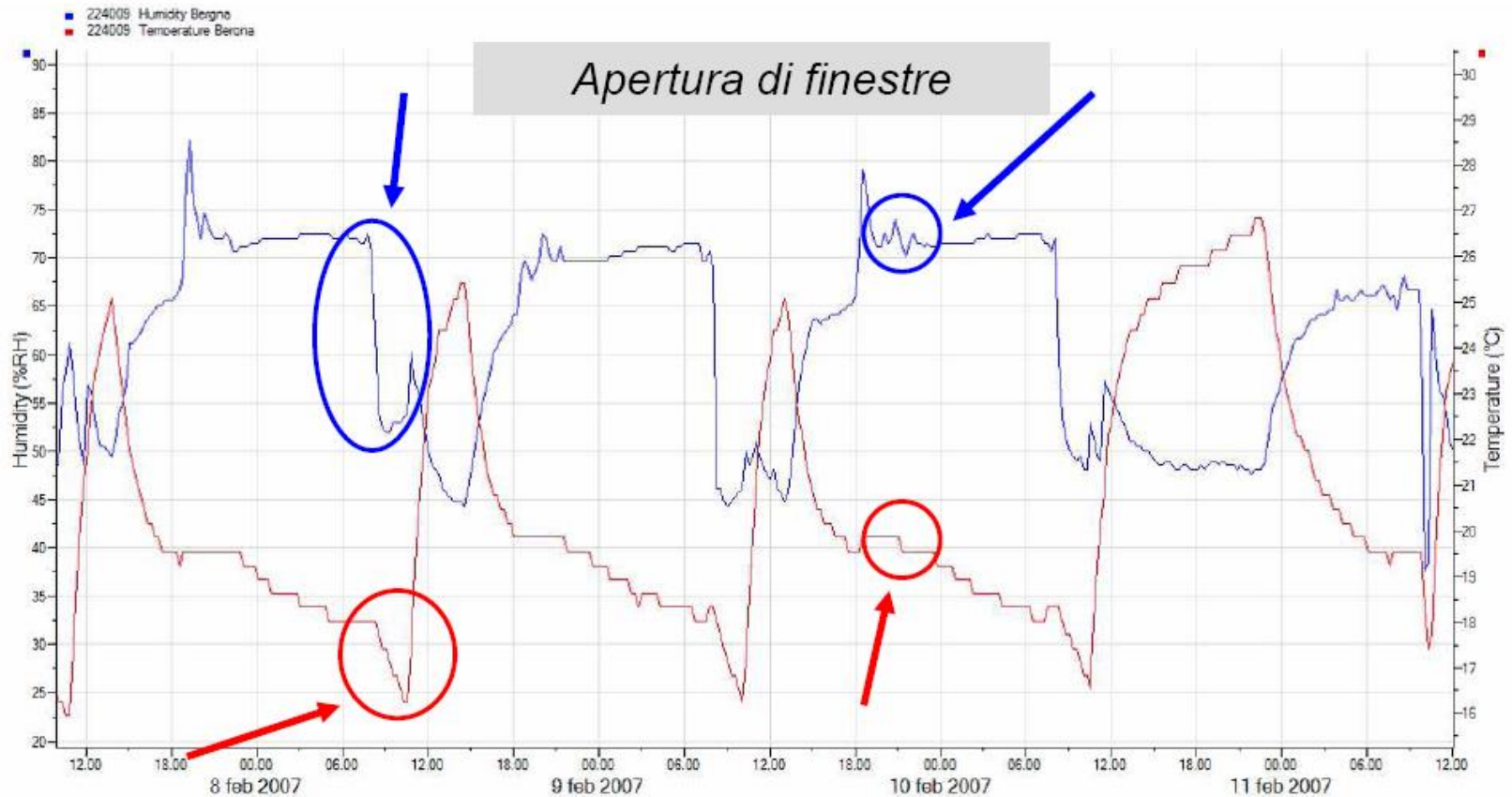
COMPORAMENTO DELL'UTENZA

Andamento di umidità relativa e temperatura



COMPORAMENTO DELL'UTENZA

Comportamento dell'utenza: interpretazioni



VALIGETTA DEL CERTIFICATORE

strumenti	Ordine di grandezza
Misura in opera	3000 – 3500 €
Termoigrometri registratori	150 – 300 €
Termocamera	6000 - ...€
Misuratore di temperatura	50 – 150 €
Blower door test	5800 €
Anemometro	500 €