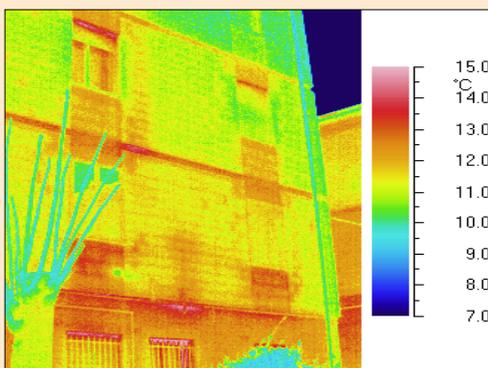


### U.10 – Misure



1/62

### PROGRAMMA

La valutazione delle caratteristiche energetiche degli edifici esistenti (diagnosi energetica): ambiti e limiti di utilizzo, potenzialità e sinergie.

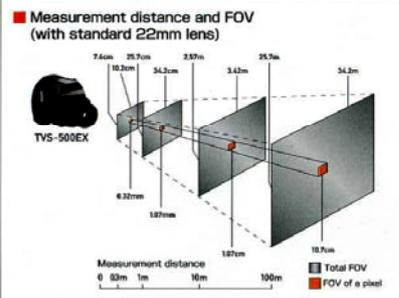
- Tecniche video-termografiche all'infrarosso
- Misure di conduttanza termica in opera
- Misure di conduttività termica in laboratorio
- Valutazioni speditive (comparazioni con abachi o soluzioni tecniche analoghe)

**TERMOGRAFIA  
INFRAROSSA**

**TERMOCAMERE IR**

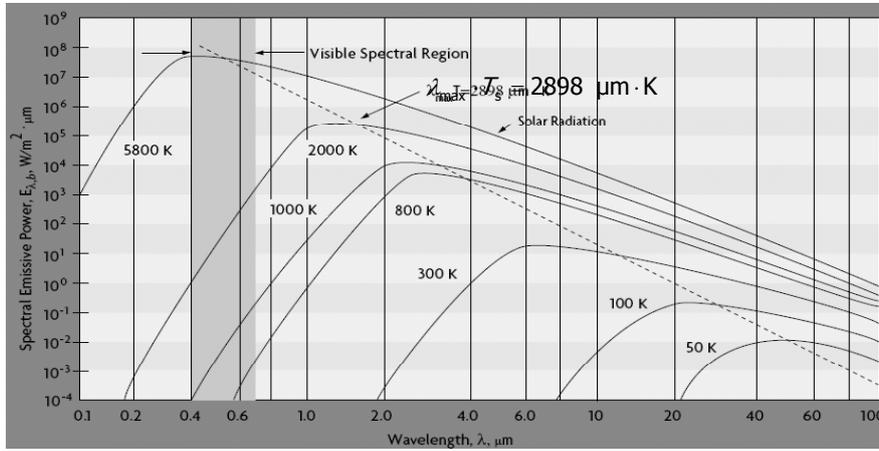
Advanced Thermo **TVS-500EX**

TVS-500EX	
Measurement range	-40~500°C-Standard -2000°C (with optional high temperature filter)
Temperature resolution	Better than 0.05°C with Averaging
Accuracy	±2°C or ±2% RH
Frame time	1/60 seconds
Detector	Uncooled FPA, 320(H) x 240(V) VOx microbolometer
Wavelength	8~14µm
FOV	19.4°(H)x14.6°(V) (with standard 22mm lens)
Spatial resolution	1.07mrad
Measurement distance	30cm ~ ∞
Effective pixels	320(H)x240(V)
Display	3.5" semi-transmissive color LCD monitor, inverted display
Visible camera	640x480
Functions	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multi point temperature display 5 points</li> <li>Multi point emissivity correction 5 points (Back Calculations)</li> <li>Mixing Image Display Mixing of thermal image and visible image display with sequential ratio change.</li> <li>Matrix temperature position locking Yes</li> <li>Auto temperature tracking AS (auto sense), AP (auto point), PPM mode, R&amp;D mode, Medical mode</li> <li>Digital zoom x2, x4 (scroll display, area designation possible)</li> <li>Freeze On/Off</li> <li>Isotherm function Yes</li> <li>Grid display Yes</li> <li>Alarm function Displayed by setting the temperature (single/continuous)</li> <li>Signal output Yes</li> <li>Image recording Interval recording with alarm as a trigger</li> </ul>



- Operational environment for the USB link software "Advanced Package"
- OS compatibility
    - OS: Microsoft Windows 2000 SP-4, Microsoft Windows XP SP-2
  - PC specifications
    - PC-AT compatible
    - The above OS shall be preinstalled and USB2.0 interface shall be equipped as standard.
    - Pentium M/1.7GHz or better (Pentium 4/2.6GHz or better is recommended)
    - RAM: 512MB or more (1GB or more is recommended)
    - HDD: A blank space of approximately 1GB or more is required in the HDD. When recording thermal image at 60FPS and visible image simultaneously, 7200rpm or faster 3.5FDD will be required.
    - Displayed color: 16 bit color (65536 colors) or more
    - Resolution: XGA (1024x768) or better

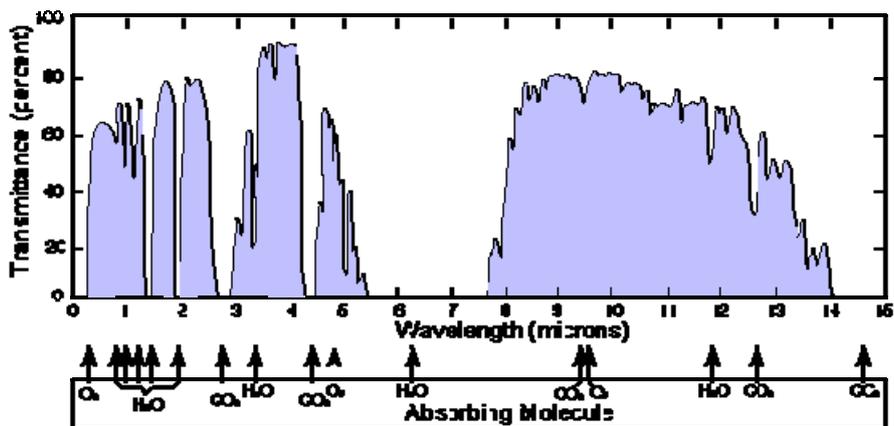
POTERE EMISSIVO TOTALE E SPETTRALE DI CORPO NERO



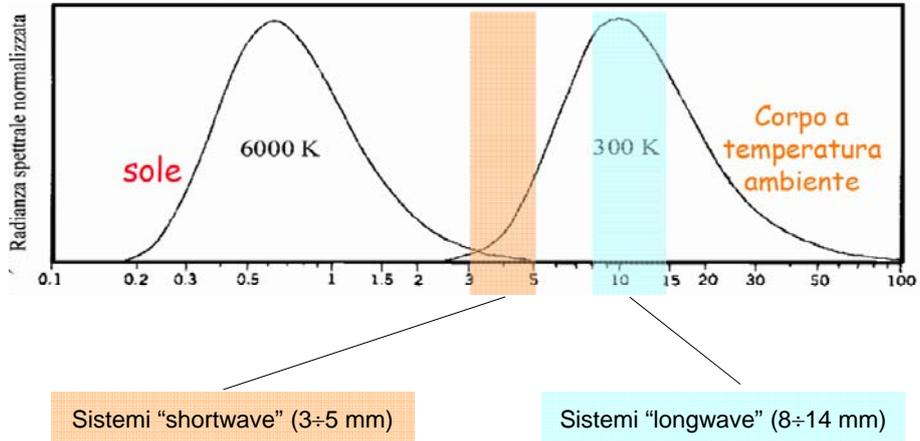
$$E_{n,\lambda}(T_s) = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda \cdot T_s}\right) - 1 \right]}$$

$$E_n(T_s) = \int_0^\infty E_{n,\lambda}(T_s) \cdot d\lambda = \sigma_0 \cdot T_s^4$$

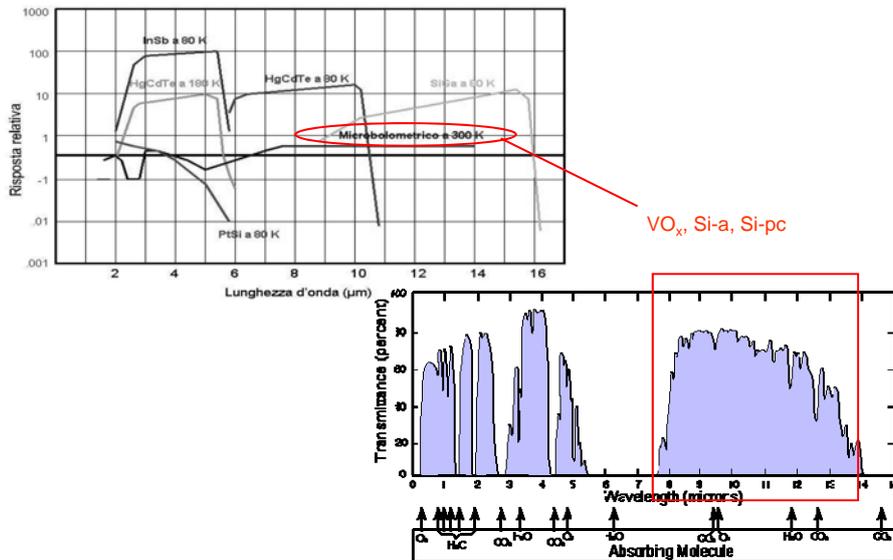
MISURE IR: TRASMITTANZA OTTICA DELL'ARIA



MISURE IR: BANDA SPETTRALE DI MISURA



MISURE IR: BANDA SPETTRALE DI MISURA



**MISURE IR: CRITERI DI SCELTA DELLE TERMOCAMERE**

- **Banda spettrale:**  
NIR (near infrared, 0.7÷1 μm), SWIR (shortwave IR, 1÷3 μm), MWIR (midwave IR, 3÷5 μm), **LWIR** (longwave IR, 7÷14 μm), VLWIR (very longwave IR, 12÷30 μm), a frequenza doppia o multipla
- **Sensore:**  
a **matrice di rilevatori FPA** (focal plane array, fino a 640x480 rilevatori), oppure a scansione con rilevatore singolo e specchio rotante (obsoleto, solo strumenti line scanner per misure in linea)
- **Rilevatore:**  
raffreddato (photon counter, con refrigeratore a ciclo Stirling, sensibilità fino a 0.01-0.02°C e frequenza fino a 10000 Hz), oppure **non raffreddato** (microbolometrico, solitamente a temperatura stabilizzata, con sensibilità fino a 0.05÷0.1°C e frequenza fino a 100 Hz)
- **Qualità dell'immagine termica:**  
**radiometrico** (rilevazioni quantitative), oppure non radiometrico (solo immagini qualitative, sistemi a basso costo o per videosorveglianza)

**MISURE IR: EMISSIVITA' TERMICA E TEMPERATURA AMBIENTE**

$$\sigma_m \propto J_{\Delta\lambda} = E_{\Delta\lambda}(T_s) + \rho_{\Delta\lambda} \cdot G_{\Delta\lambda}(T_a) = \varepsilon_{\Delta\lambda} \cdot E_{n,\Delta\lambda}(T_s) + (1 - \varepsilon_{\Delta\lambda}) \cdot E_{n,\Delta\lambda}(T_a)$$

ove

- $\sigma_m$  segnale (elettrico) misurato dal sensore
- $J_{\Delta\lambda}$  radiosità della superficie nella banda spettrale di misura  $\Delta\lambda$  [W/m<sup>2</sup>]
- $\Delta\lambda$  banda spettrale di misura
- $E_{\Delta\lambda}(T)$  potere emissivo nella banda di misura di una superficie a temperatura T [W/m<sup>2</sup>]
- $\rho_{\Delta\lambda}$  riflettanza della superficie (opaca) nella banda di misura  
 $\rho_{\Delta\lambda} = 1 - \varepsilon_{\Delta\lambda}$
- $G_{\Delta\lambda}$  radiazione (ambientale) incidente sulla superficie [W/m<sup>2</sup>]
- $\varepsilon_{\Delta\lambda}$  emissività della superficie nella banda di misura
- $E_{n,\Delta\lambda}(T)$  massimo potere emissivo nella banda di misura di una superficie a temperatura T [W/m<sup>2</sup>]
- $T_s$  temperatura superficiale [K]
- $T_a$  temperatura ambiente [K]
- $E_{n,\lambda}(T)$  massimo potere emissivo spettrale (o monocromatico) di una superficie a temperatura T

$$E_{n,\Delta\lambda}(T_s) = \int_{\Delta\lambda} E_{n,\lambda}(T_s) \cdot d\lambda = \int_{\Delta\lambda} \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda \cdot T_s}\right) - 1 \right]} \cdot d\lambda$$

MISURE IR: CALCOLO DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE

$$T_s = f(\sigma_s) = A_0 + A_1 \cdot (\sqrt[4]{\sigma_s}) + A_2 \cdot (\sqrt[4]{\sigma_s})^2 + A_3 \cdot (\sqrt[4]{\sigma_s})^3 + A_4 \cdot (\sqrt[4]{\sigma_s})^4 + \dots$$

ove

$T_s$  temperatura superficiale (da misurare) [K]  
 $\sigma_s$  segnale corretto per considerare la riflessione ambientale

$$\sigma_s = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\epsilon_{\Delta\lambda}} + \sigma_a \Leftrightarrow \sigma_m = \epsilon_{\Delta\lambda} \cdot \sigma_s + (1 - \epsilon_{\Delta\lambda}) \cdot \sigma_a$$

$\epsilon_{\Delta\lambda}$  emissività della superficie nella banda di misura  $\Delta\lambda$   
 $\sigma_m$  segnale (elettrico) misurato dal sensore (se  $\epsilon_{\Delta\lambda} = 1$ ,  $\sigma_s \equiv \sigma_m$ )  
 $\sigma_a$  termine di correzione relativo alla riflessione dell'emissione ambientale

$$\sigma_a = g(T_a) = B_0 + B_1 \cdot T_a + B_2 \cdot T_a^2 + B_3 \cdot T_a^3 + B_4 \cdot T_a^4 + \dots$$

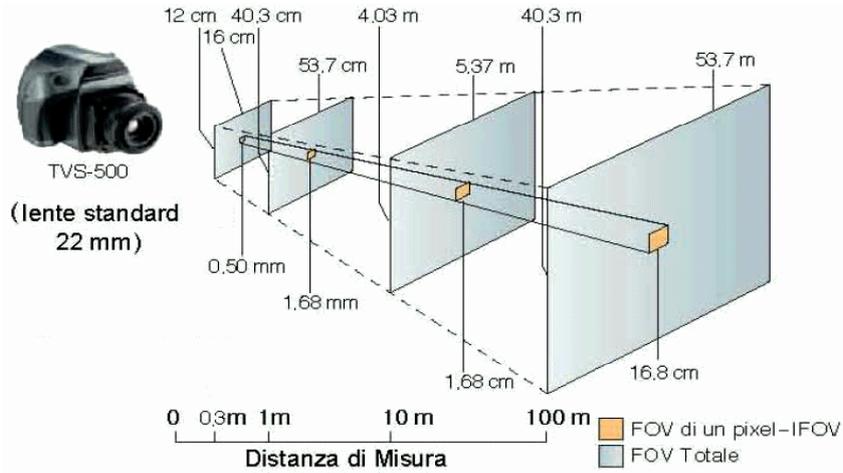
$T_a$  temperatura ambiente [K], misurata da un sensore integrato, oppure impostata manualmente

I coefficienti di correlazione  $A_0, A_1, A_2, \dots$  (e quindi  $B_0, B_1, B_2, \dots$ ) sono ottenuti per ogni singolo pixel del sensore FPA mediante calibrazione con corpo nero di riferimento.

Metals			Nonmetals		
Surface	Temp. (°C)	$\epsilon$	Surface	Temp. (°C)	$\epsilon$
Aluminum			Asbestos	40	0.93-0.97
Polished, 98% pure	200-600	0.04-0.06	Brick		
Commercial sheet	90	0.09	Red, rough	40	0.93
Heavily oxidized	90-540	0.20-0.33	Silica	980	0.80-0.85
Brass			Fireclay	980	0.75
Highly polished	260	0.03	Ordinary refractory	1090	0.59
Dull plate	40-260	0.22	Magnesite refractory	980	0.38
Oxidized	40-260	0.46-0.56	White refractory	1090	0.29
Copper			Carbon		
Highly polished electrolytic	90	0.02	Filament	1040-1430	0.53
Slightly polished to dull	40	0.12-0.15	Lampsoot	40	0.95
Black oxidized	40	0.76	Concrete, rough	40	0.94
Gold: pure, polished	90-600	0.02-0.035	Glass		
Iron and steel			Smooth	40	0.94
Mild steel, polished	150-480	0.14-0.32	Quartz glass (2 mm)	260-540	0.96-0.66
Steel, polished	40-260	0.07-0.10	Pyrex	260-540	0.94-0.74
Sheet steel, rolled	40	0.66	Gypsum	40	0.80-0.90
Sheet steel, strong	40	0.80	Ice	0	0.97-0.98
rough oxide			Limestone	400-260	0.95-0.83
Cast iron, oxidized	40-260	0.57-0.66	Marble	40	0.93-0.95
Iron, rusted	40	0.61-0.85	Mica	40	0.75
Wrought iron, smooth	40	0.35	Paints		
Wrought iron, dull oxidized	20-360	0.94	Black gloss	40	0.90
Stainless, polished	40	0.07-0.17	White paint	40	0.89-0.97
Stainless, after repeated	230-900	0.50-0.70	Lacquer	40	0.80-0.95
heating			Various oil paints	40	0.02-0.96
Lead			Red lead	90	0.93
Polished	40-260	0.05-0.08	Paper		
Oxidized	40-200	0.63	White	40	0.95-0.98
Mercury: pure, clean	40-90	0.10-0.12	Other colors	40	0.92-0.94
Platinum			Roofing	40	0.91
Pure, polished plate	200-590	0.05-0.10	Plaster, rough lime	40-260	0.92
Oxidized at 590°C	260-590	0.07-0.11	Quartz	100-1000	0.89-0.58
Drawn wire and strips	40-1370	0.04-0.19	Rubber	40	0.86-0.94
Silver	200	0.01-0.04	Snow	10-20	0.82
Tin	40-90	0.05	Water, thickness $\geq 0.1$ mm	40	0.96
Tungsten			Wood	40	0.80-0.90
Filament	540-1090	0.11-0.16	Oak, planed	20	0.90
Filament	2760	0.39			

Fonte: J.H Lienhard IV, J.H Lienhard V, "A heat transfer textbook", Third Edition

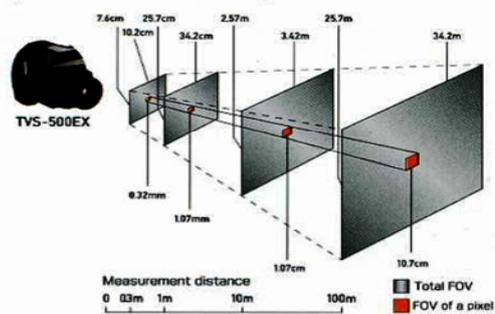
MISURE IR: CAMPO DI VISTA



Le normali ottiche fotografiche sono opache alla radiazione IR!

Measurement range	-40~500°C:Standard ~2000°C (with optional high temperature filter)
Temperature resolution	Better than 0.05°C with Averaging
Accuracy	±2°C or ±2% ※1
Frame time	1/60 seconds
Detector	Uncooled FPA, 320(H) x 240(V) VOx microbolometer
Wavelength	8~14 μm
FOV	19.4°(H)x14.6°(V) (with standard 22mm lens)
Spatial resolution	1.07mrad
Measurement distance	30cm~∞
Effective pixels	320(H)x240(V)
Display	3.5" semi-trans
Visible camera	640x480

■ Measurement distance and FOV (with standard 22mm lens)



**MISURE IR: SPECIFICHE TECNICHE DELLE TERMOCAMERE**

- **NETD**, acronimo di “noise equivalent temperature difference” (in italiano si parla di Sensibilità termica): differenze di temperatura minori del NETD non sono percepibili in un’immagine termica in quanto inferiori al rumore di fondo; NETD 0.01÷0.02°C per sensori raffreddati, 0.06÷0.2°C per sensori non raffreddati, con i valori migliori generalmente ottenuti attraverso un processo di media mobile di immagini in sequenza.
- **Waveband** (in italiano Campo spettrale, o anche Finestra operativa): banda dello spettro della radiazione elettromagnetica sfruttata dal sensore; termocamere per misure a temperatura ambiente o di poco superiore sfruttano le bande 3÷5 µm e 7÷14 µm (meno influenzata dall’umidità atmosferica e quindi più usata per misure in campo aperto), oppure loro sotto-bande (con sensori raffreddati).
- **Pixel resolution** (in italiano Pixel effettivi, o anche Risoluzione geometrica): numero di pixel in un’immagine termica, solitamente identico al numero di rilevatori di un sensore FPA; termocamere standard hanno sensori da 160x120, 320x240 o 640x480 pixel (circa).
- **Frame rate** (in italiano Frequenza immagini, o Frequenza di acquisizione): massimo numero di immagini termiche acquisibili in sequenza nell’unità di tempo; in un sensore FPA è tipicamente limitato a valori tra 25÷30 e 100÷120 Hz dall’inerzia dei rilevatori (principalmente per i sensori non raffreddati) e/o dalla velocità di multiplexer e bus dati che connettono il sensore all’elettronica (principalmente per i sensori raffreddati, che però possono operare fino a 1000÷10000 Hz in **Sub-window mode**, o Sub array windowing, cioè acquisendo il segnale in una sotto-finestra di pochi pixel di lato).

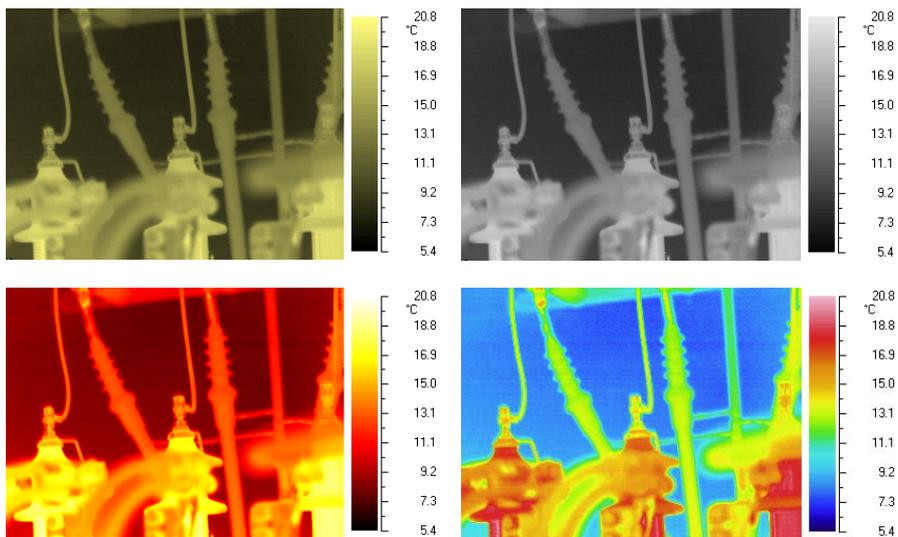
**MISURE IR: SPECIFICHE TECNICHE DELLE TERMOCAMERE**

- **A/D** (in italiano Profondità dell’immagine): numero di livelli discreti che può assumere il segnale digitale nel quale viene convertito il segnale analogico prodotto dai rilevatori. Si è via via passati da sistemi a 4 bit (immagini termiche con  $2^4=16$  distinti colori/livelli di temperatura) a sistemi a 8 ( $2^8=256$ ), 12 ( $2^{12}=4096$ ), 14 ( $2^{14}=16384$ ) e anche 16 bit ( $2^{16}=65536$ ); oltre non serve (in un immagine a 14 bit, su un campo termico di 160°C si ha una separazione tra livelli di temperatura <0.01°C, minore del più basso valore di NETD tecnicamente possibile).
- **Temperature range** (o Temperature calibration range, in italiano Campo di misura temperatura): l’intervallo delle temperature che lo strumento può rilevare; il limite inferiore (tipicamente – 20°C/–40°C) è dato dal minimo livello di energia elettromagnetica percepibile dai rilevatori, mentre il limite superiore è quello oltre il quale il sensore “satura” ed il segnale elettrico prodotto raggiunge il fondo scala. Il campo di misura temperatura può essere esteso e/o traslato verso l’alto adottando filtri che riducono la radiazione elettromagnetica focalizzata sul sensore, ma in genere a scapito della sensibilità e della precisione.
- **Temperature measurement accuracy** (o semplicemente Accuracy, in italiano tradotto con Accuratezza o, più impropriamente, con Precisione): accuratezza della misura di temperatura per un oggetto di cui è nota l’emissività, di solito non migliore di  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

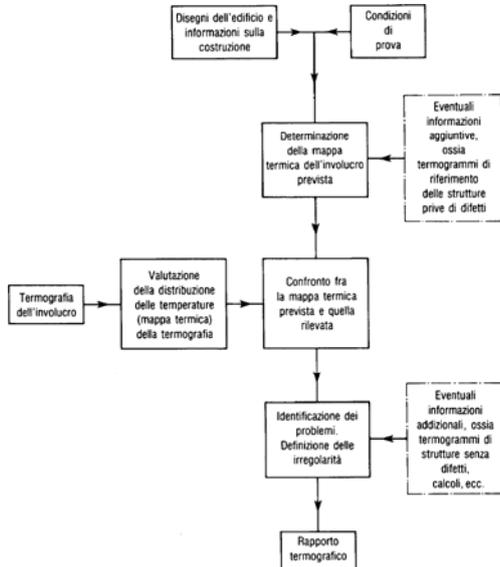
**MISURE IR: SPECIFICHE TECNICHE DELLE TERMOCAMERE**

- **FOV**, acronimo di “field of view” (in italiano Campo di vista): angolo solido complessivamente monitorato dal sensore dello strumento termografico. Può essere spesso modulato sostituendo l'ottica (in inglese Lens) dello strumento con obiettivi micro, macro, tele, ecc.
- **IIFOV**, acronimo di “instantaneous field of view” (o pixel FOV, in italiano Campo di vista istantaneo o Risoluzione spaziale): angolo solido monitorato dal singolo rilevatore di un sensore FPA.
- **Analogue video output** (in italiano Uscita video): tipo di segnale video analogico eventualmente prodotto dallo strumento, ovviamente solo qualitativo e generalmente di tipo PAL (standard europeo, a 50 Hz) o NTSC (standard USA/Giappone, a 60 Hz).
- **Digital Video output e/o PC interface**: interfaccia di esportazione delle immagini termiche in formato digitale, quasi sempre presente su strumenti radiometrici e basata sugli standard USB e IEEE-1394 (firewire), oppure su interfacce proprietarie....

**MISURE IR: SCALA A FALSI COLORI**



MISURE IR: DIAGNOSI ENERGETICA (UNI 9252:1988)



Condizioni di prova:

- $(T_i - T_e) > 10^\circ\text{C}$  da 24 h prima e durante tutta la prova
- Variazioni di  $(T_i - T_e)$  non oltre  $\pm 30\%$  del valore iniziale
- Variazioni di  $T_i$  non oltre  $\pm 2^\circ\text{C}$  del valore iniziale
- Superficie non insolata da 12 h prima e durante tutta la prova

Le valutazioni sono in ogni caso qualitative

MISURE IR: DIAGNOSI ENERGETICA (UNI 9252:1988)

Rapporto termografico

Il rapporto termografico deve riportare, oltre al riferimento della presente norma, le indicazioni seguenti:

- a) breve descrizione della configurazione costruttiva dell'edificio (questa informazione deve essere basata su disegni o altri documenti di costruzione, quando disponibili);
- b) tipi di superficie dei materiali usati e valutazione stimata dell'emissività di questi materiali;
- c) orientamento geografico degli edifici rispetto ai punti cardinali e descrizione dell'ambiente circostante (costruzioni, vegetazione ecc.);
- d) caratteristiche dell'equipaggiamento di analisi incluso il modello e numero di serie;
- e) data e ora della prova;
- f) condizioni di temperatura dell'aria esterna (almeno il valore minimo e massimo osservato nel corso di 24 h prima dell'inizio delle prove e durante le prove, vedere 5.1);
- g) informazioni generali circa le condizioni di radiazione solare (osservate nel corso delle 12 h prima dell'inizio della prova e durante la prova, vedere 5.1);
- h) temperatura interna dell'aria e salto termico fra interno ed esterno, vedere 5.1;
- i) descrizione delle condizioni di prova, vedere 5.1;
- l) precipitazioni, direzione del vento e velocità del vento durante la prova, vedere 5.2;
- m) differenza di pressione d'aria fra le parti sottovento e sopravvento per ogni piano (se necessario);
- n) altri importanti fattori che possono influenzare i risultati della prova, per esempio rapide variazioni delle condizioni climatiche;
- o) schizzi, foto dell'edificio mostrandone la posizione del termogramma;
- p) termogrammi ottenuti dalla prova con indicazioni del posizionamento delle zone interessate e con commenti sulle immagini termiche;
- q) identificazione delle parti analizzate della costruzione;
- r) risultati dell'analisi relativa alla presenza e all'importanza di ciascun difetto costruttivo eventualmente rilevato;
- s) risultati di misure o di analisi complementari.

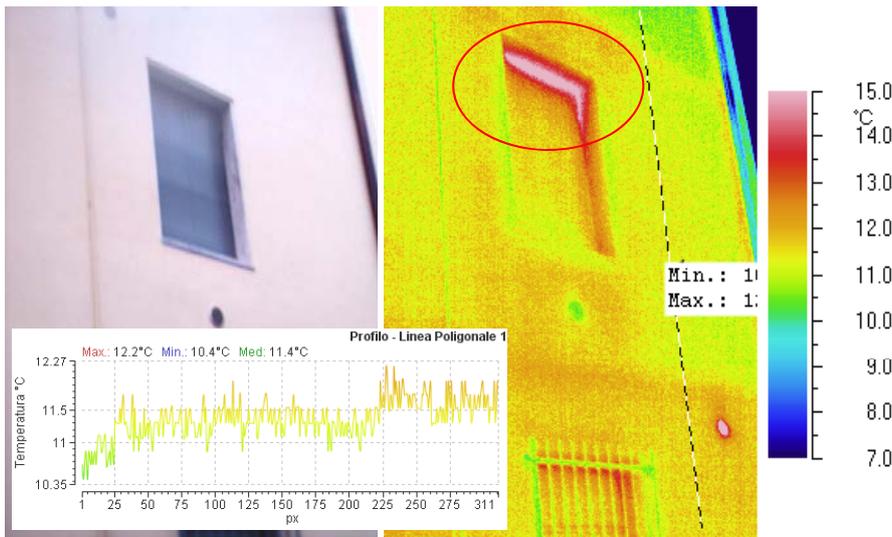
MISURE IR: DISPERSIONI TERMICHE



U.10 – Misure

21/62

MISURE IR: DISPERSIONI TERMICHE



U.10 – Misure

22/62

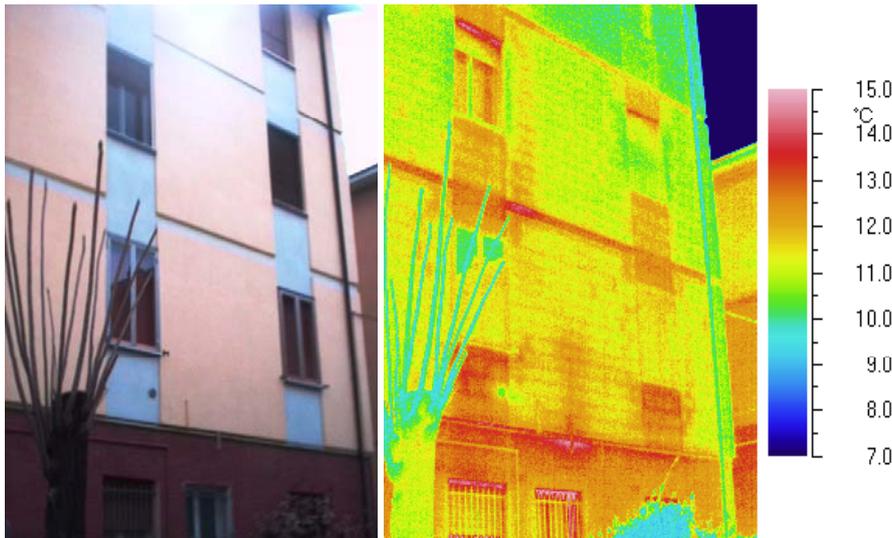
ABACHI TRASMITTANZE (UNI/TS 11300-1 App. A)

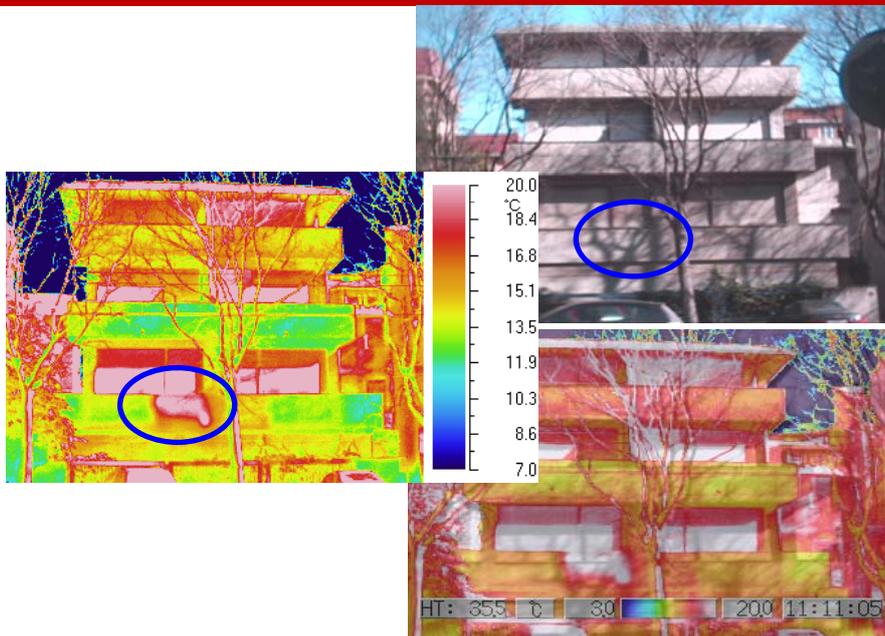
prospetto A.2 **Trasmittanza termica dei cassonetti [W/(m<sup>2</sup>K)]**

Tipologia di cassonetto	Trasmittanza termica
Cassonetto non isolato	6
Cassonetto isolato <sup>a)</sup>	1

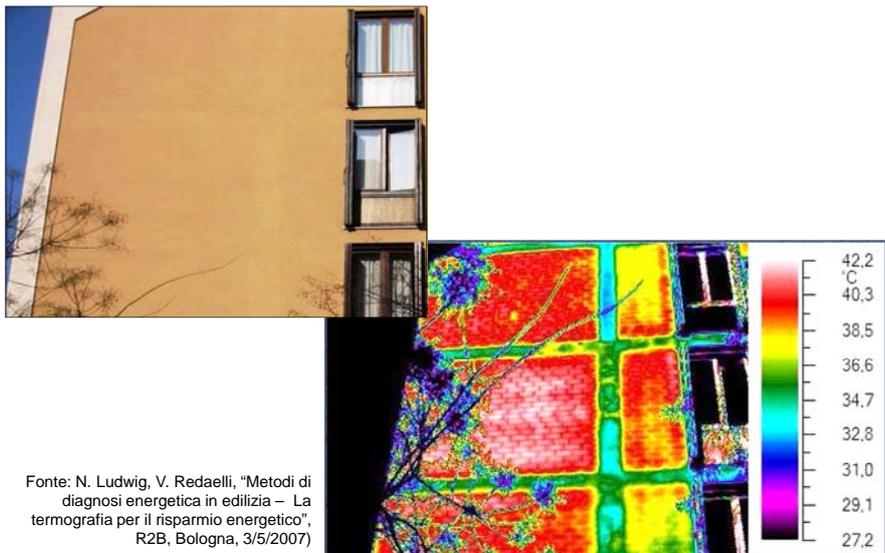
a) Si considerano isolate quelle strutture che hanno un isolamento termico non minore di 2 cm.

MISURE IR: DISPERSIONI TERMICHE

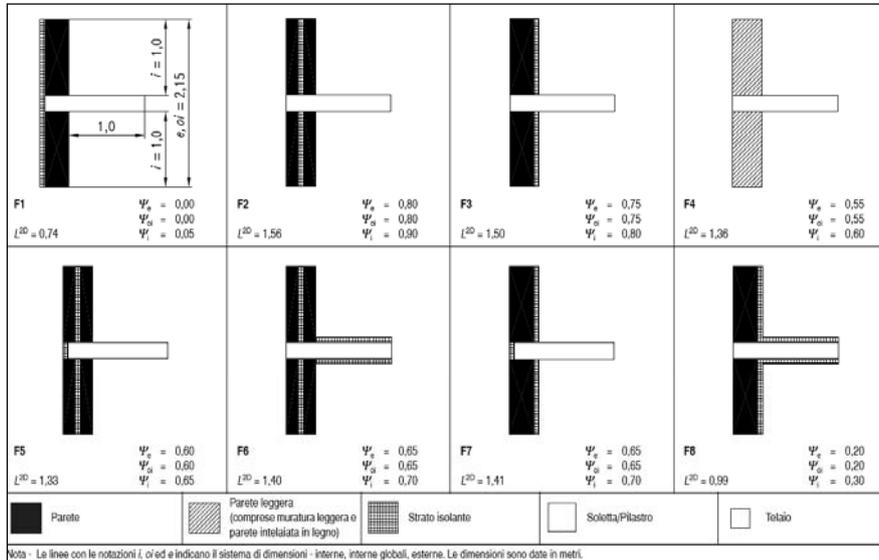




MISURE IR: EFFETTI DELL'INSOLAZIONE



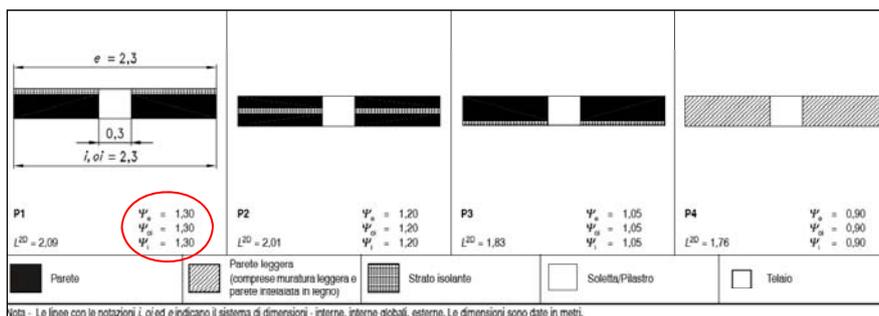
PONTI TERMICI (UNI EN ISO 14683): SOLAI INTERPIANO



U.10 – Misure

27/62

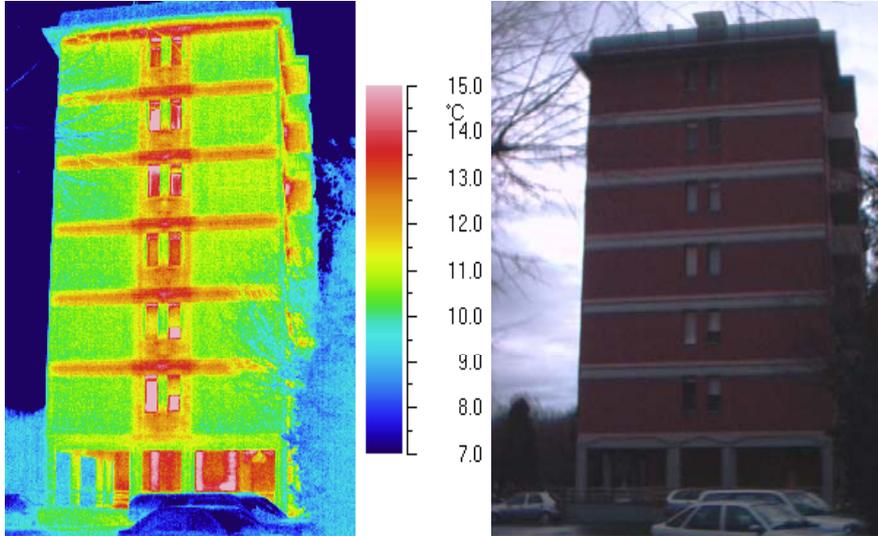
PONTI TERMICI (UNI EN ISO 14683): PILASTRI



U.10 – Misure

28/62

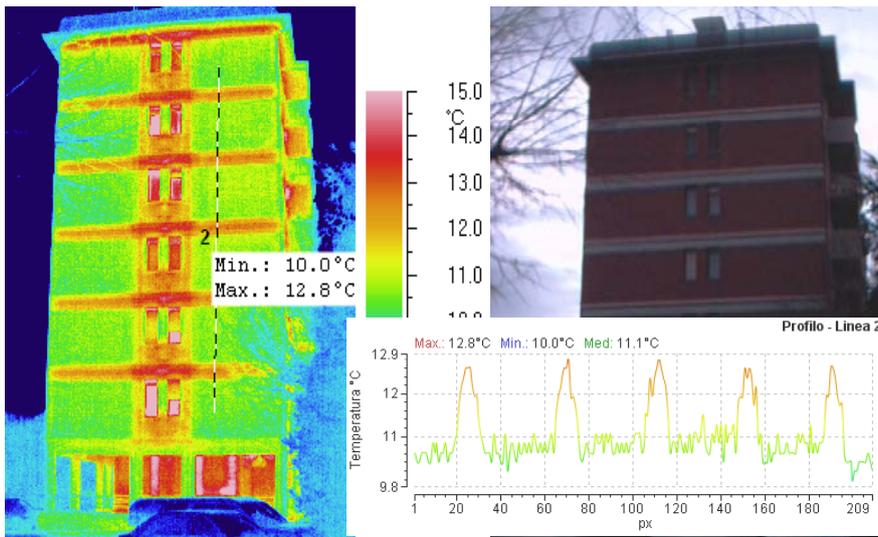
MISURE IR: PONTI TERMICI



U.10 – Misure

29/62

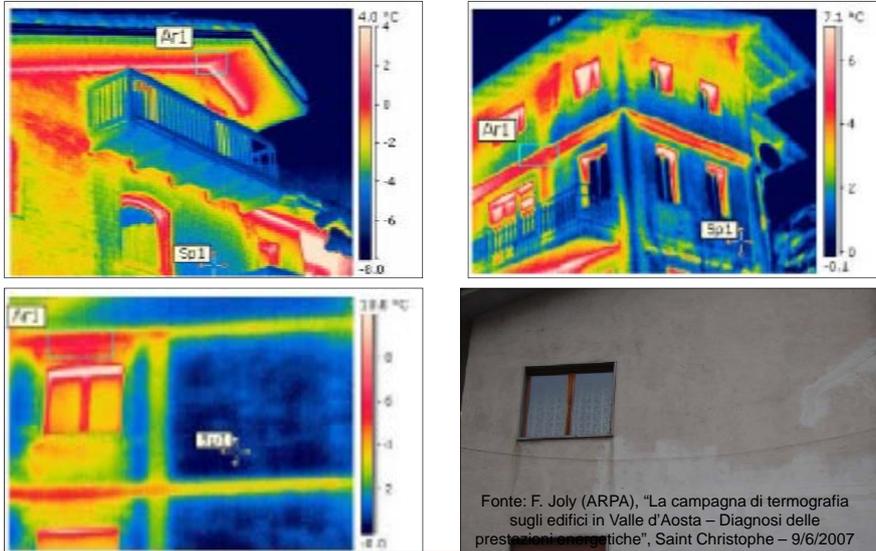
MISURE IR: PONTI TERMICI



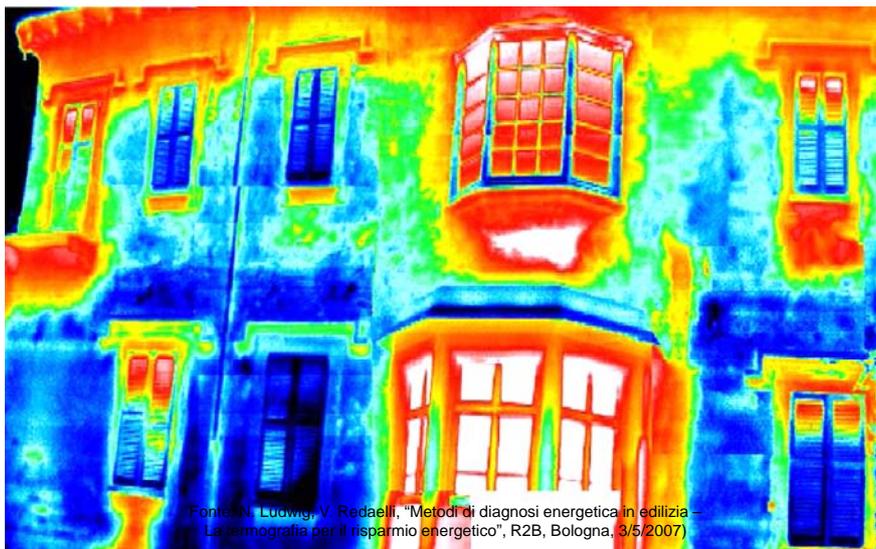
U.10 – Misure

30/62

MISURE IR: CORNICIONI, BALCONI, STRUTTURE



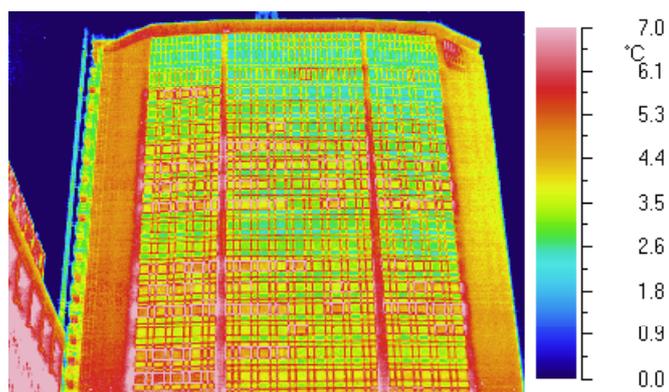
MISURE IR: BANCALI FINESTRE ECC.



MISURE IR: VETRATE

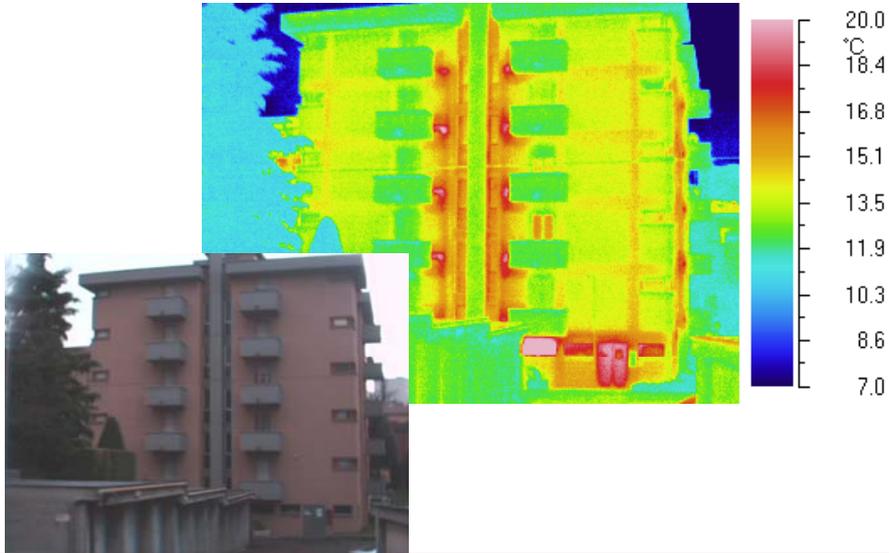


MISURE IR: VETRATE CON TELAIO METALLICO



Fonte: Inprotec SpA, Divisione Infrarosso

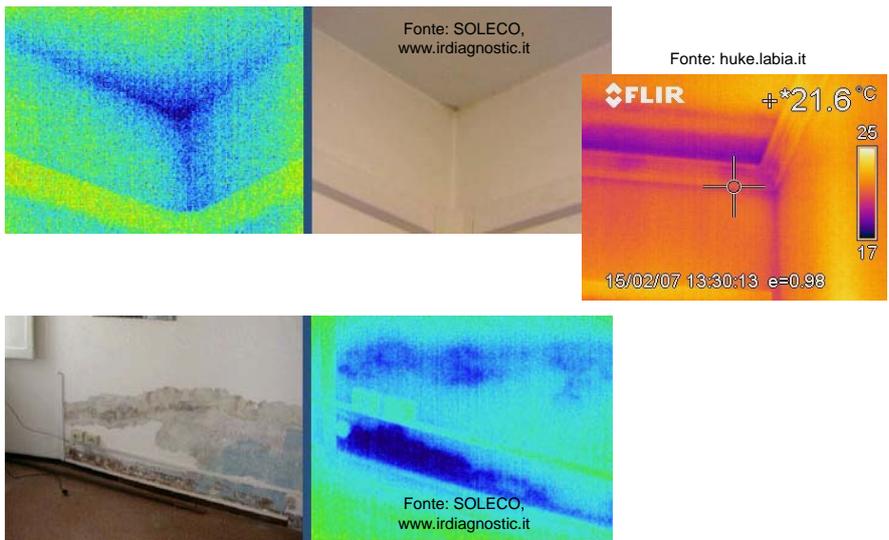
MISURE IR: VANI SCALE



U.10 – Misure

35/62

MISURE IR: CONDENSA SUPERFICIALE, UMIDITA' DI RISALITA



U.10 – Misure

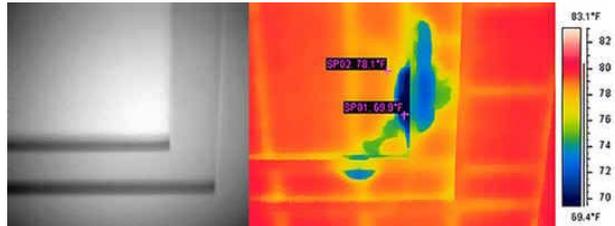
36/62

MISURE IR: CONDENZA SUPERFICIALE E PONTI TERMICI



MISURE IR: INDIVIDUAZIONE PERDITE IDRAULICHE

Fonte: Studio Tecnico Teobaldelli  
[www.at-acustica.com](http://www.at-acustica.com)



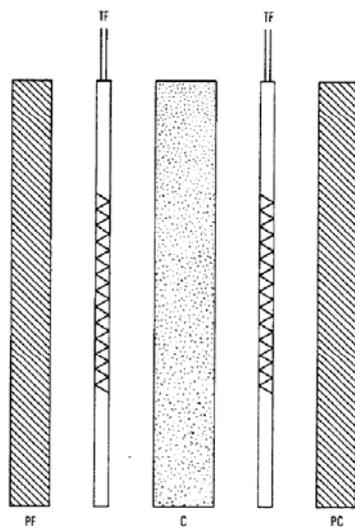
Fonte: SOLECO, [www.irdiagnostic.it](http://www.irdiagnostic.it)



MISURE IN OPERA  
DI CONDUTTANZE TERMICHE

MISURE DI CONDUTTANZA: METODO DEI TERMOFLUSSIMETRI

(UNI 7891 – ISO 8301/9869 –  
UNI EN 12664/12667/12939)



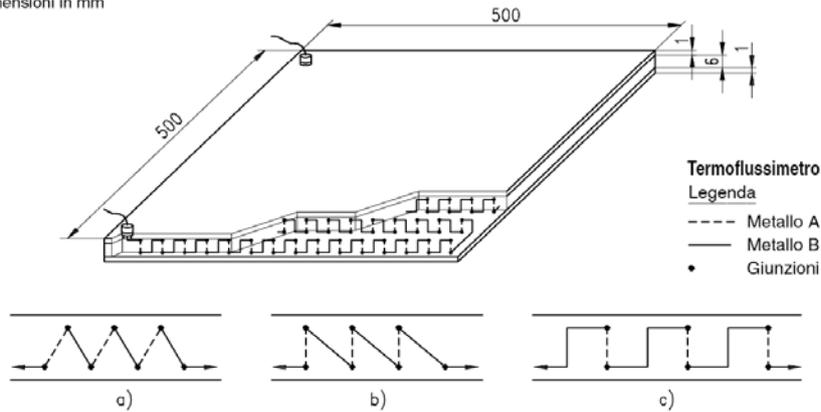
Legenda

- C campione
- TF termoflussimetro
- PC piastra calda
- PF piastra fredda

**MISURE DI CONDUTTANZA: METODO DEI TERMOFLUSSIMETRI**

(UNI 7891 – ISO 8301/9869 – UNI EN 12664/12667/12939)

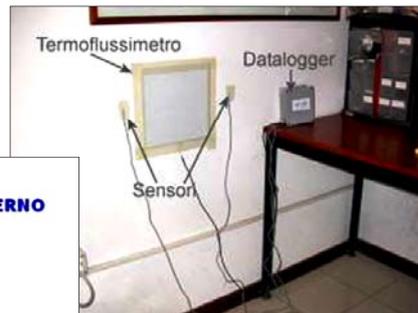
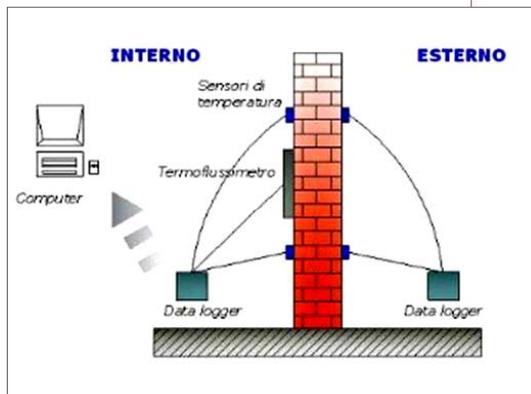
Dimensioni in mm



Nota - In alto, un esempio di termoflustrimetro costituito da un foglio di gomma; contiene 252 paia di giunzioni; la resistenza termica è 0,035 m<sup>2</sup> K/W; lo spessore totale è 8 mm. In basso, sono rappresentate alcune disposizioni di termopile. La termopila a) è sensibile alle differenze di temperatura sia perpendicolari che longitudinali al termoflustrimetro. Le termopile b) e c) sono sensibili solamente alle differenze di temperatura perpendicolari al termoflustrimetro per cui sono preferibili.

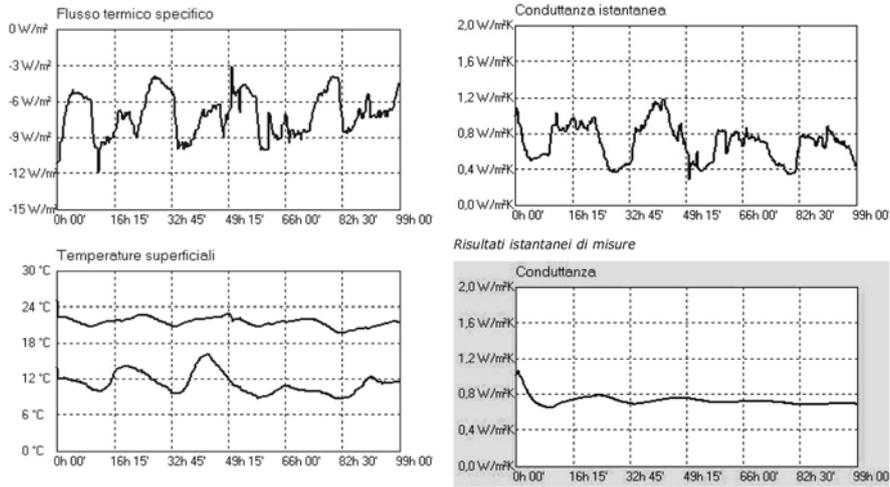
**MISURE DI CONDUTTANZA: METODO DEI TERMOFLUSSIMETRI**

(UNI 7891 – ISO 8301/9869 –  
 UNI EN 12664/12667/12939)



$$C_p \equiv \frac{1}{R_p} = \frac{1}{(T_{si} - T_{se})/q''} \equiv \frac{1}{(T_i - T_e)/q'' - R_{si} - R_{se}}$$

MISURE DI CONDUTTANZA: METODO DEI TERMOFLUSSIMETRI



Fonte: R. Esposti, "La valigetta del certificatore", in neo-Eubios, n. 19, marzo 2007

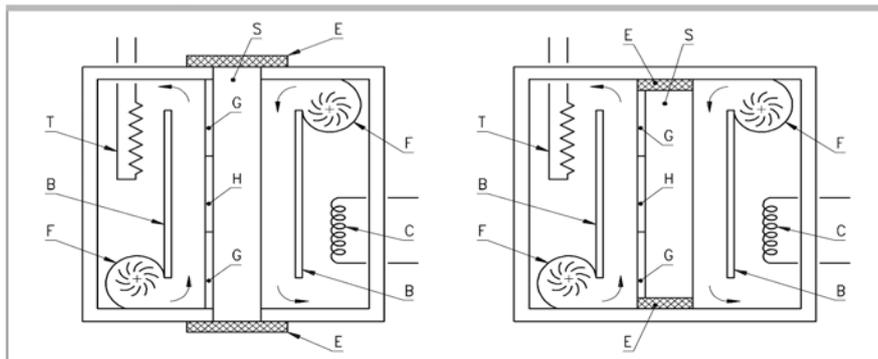
Elaborazione dati per il calcolo della conduttanza con il metodo medie progressive

MISURE DI CONDUTTANZA: METODO DELLA CAMERA CALDA

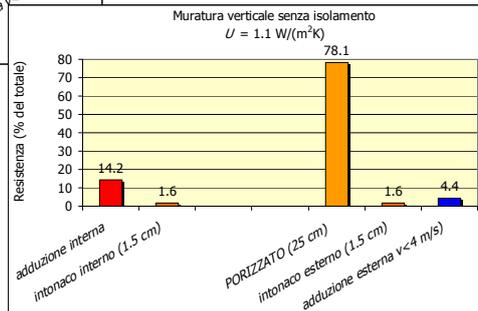
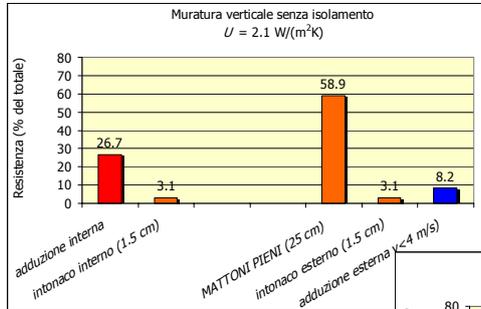
figura 2 Disposizione tipica di un'apparecchiatura a camera calda con termoflussimetro

- Legenda
- B Schermo
  - C Unità raffreddante
  - E Isolamento periferico
  - F Ventilatore
  - G Foglio di guardia
  - H Termoflussimetro
  - S Provino
  - T Resistenza elettrica di riscaldamento

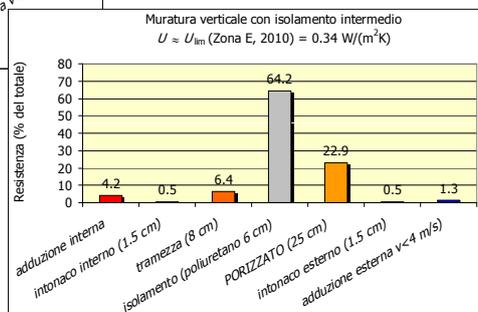
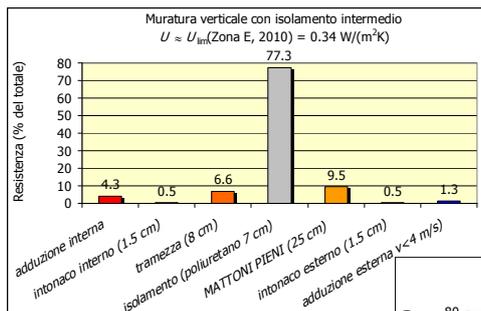
(UNI EN 1934 – ISO 8990)



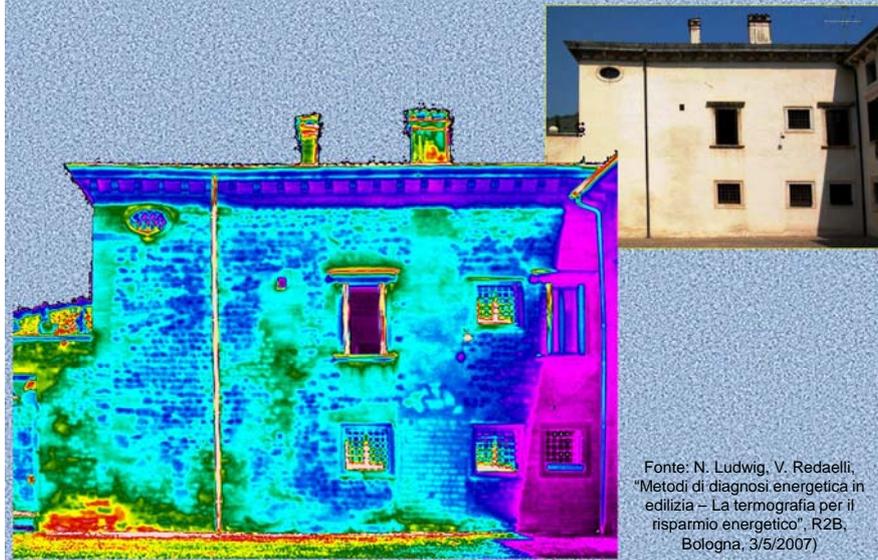
TRASMITTANZA: ESEMPI (PARETE VERTICALE NON ISOLATA)



TRASMITTANZA: ESEMPI (PARETE VERTICALE ISOLATA)



TESSITURA MURARIA (MISURA IR)



ABACHI TRASMITTANZE (UNI/TS 11300-1 App. A)

I dati riportati nei prospetti dell'abaco in [Appendice A alla UNI/TS 11300-1](#) vanno utilizzabili solo per valutazioni energetiche di edifici esistenti, qualora non si possa effettuare una determinazione rigorosa di calcolo, sulla base di dati derivanti da ispezioni o da altre fonti più attendibili.

Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache<sup>a) b)</sup> [W/(m<sup>2</sup>K)]

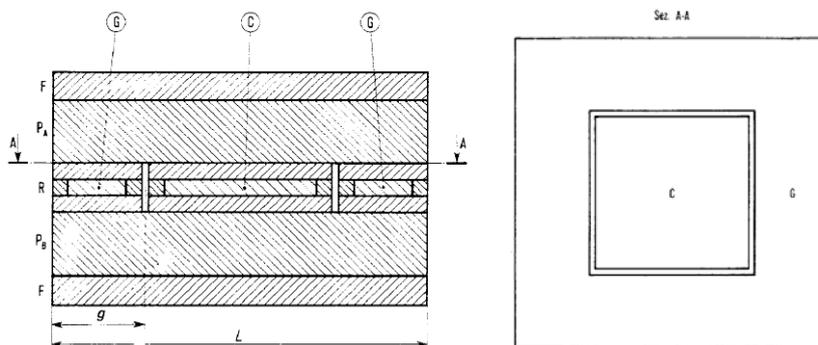
Spessore [m]	Muratura di pietrame intonacata	Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce	Muratura di mattoni semipieni o tufo	Pannello prefabbricato in calcestruzzo non isolato	Parete a cassa vuota con mattoni forati <sup>c)</sup>
0,15	-	2,59	2,19	3,59	-
0,20	-	2,28	1,96	3,28	-
0,25	-	2,01	1,76	3,02	1,20
0,30	2,99	1,77	1,57	2,80	1,15
0,35	2,76	1,56	1,41	2,61	1,10
0,40	2,57	1,39	1,26	2,44	1,10
0,45	2,40	1,25	1,14	-	1,10
0,50	2,25	1,14	1,04	-	1,10
0,55	2,11	1,07	0,96	-	-
0,60	2,00	1,04	0,90	-	-

- a) I sottofinestra devono essere computati come strutture a parte.
- b) In presenza di strutture isolate dall'esterno, la trasmittanza della parete può essere calcolata sommando alla resistenza termica della struttura non isolata, scelta dal prospetto A.1, la resistenza termica dello strato isolante aggiunto.
- c) I valori della trasmittanza sono calcolati considerando la camera d'aria a tenuta.

MISURE DI  
CONDUTTIVITA' TERMICA

PIASTRA CALDA CON ANELLO DI GUARDIA

(UNI 7745 – ISO 8302 – UNI EN 12664/12667/12939)



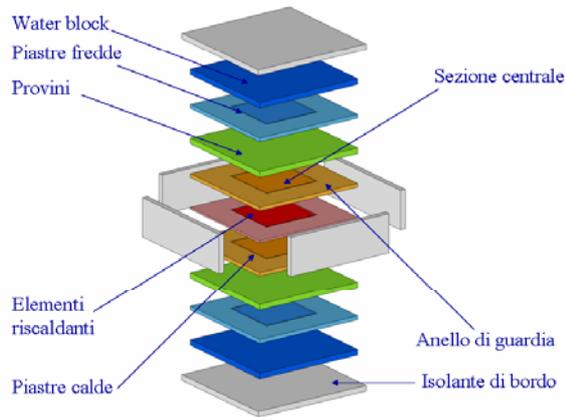
Legenda

- C piastra calda
  - G anello di guardia
  - P<sub>A</sub>, P<sub>B</sub> campioni
  - F piastre fredde
- (le sonde di temperatura sono inserite tra la piastra calda e i campioni e tra i campioni e le piastre fredde)

$$\lambda = \frac{\Delta x}{A} \cdot \frac{Q'/2}{T_C - T_F}$$

**PIASTRA CALDA CON ANELLO DI GUARDIA**

(UNI 7745 – ISO 8302 – UNI EN 12664/12667/12939)



$$\lambda = \frac{\Delta x}{A} \cdot \frac{Q'/2}{T_C - T_F}$$

Apparato a piastra calda con anello di guardia (esploso)

**CONDUTTIVITA' TERMICA (UNI 10351)**

**Conduttività indicativa di riferimento,  $\lambda_m$**

La colonna della conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$  si riferisce alla conduttività apparente misurata o misurabile in laboratorio su campioni di spessore uguale o maggiore di 10 cm, alla temperatura media di 293 K, con le apparecchiature e i procedimenti indicati nelle UNI 7745 e UNI 7891. In aggiunta a quanto previsto dalle norme citate, la differenza di temperatura tra le facce delle provette deve essere maggiore di 15 K per materiali la cui massa volumica è minore di 300 kg/m<sup>3</sup>, inoltre l'umidità percentuale in massa al termine della prova su materiali organici deve essere minore del 2%.

I valori numerici di  $\lambda_m$  definiscono il limite superiore della conduttività apparente misurata o misurabile nelle condizioni citate.

La differenza tra i valori di  $\lambda_m$  ed i valori delle medie aritmetiche dei dati riscontrabili nella produzione costante è compresa usualmente tra il 5% e il 50%.

I dati relativi a prodotti non costanti possono superare talvolta anche del 50% i valori di  $\lambda_m$  indicati nel prospetto. I valori di  $\lambda_m$  hanno valore indicativo poiché non è possibile identificare tutte le tecnologie di produzione e tutti i tipi di materiali esistenti sul mercato.

Quando i valori di  $\lambda_m$  sono stati desunti da specificazioni UNI relative alla conduttività apparente del materiale, il numero della norma è citata nel prospetto.

CONDUTTIVITA' TERMICA (UNI 10351)

...

**Maggiorazione percentuale,  $m$**

La colonna della maggiorazione percentuale,  $m$ , tiene conto, in condizioni medie di esercizio, del contenuto percentuale di umidità, espressa in massa di acqua riferita alla massa del materiale secco (minore dell'1% per laterizi, da 2 a 5% per calcestruzzi e malte, umidità di equilibrio con un ambiente a 293 K e 65% di umidità relativa per isolanti leggeri, salvo diversa indicazione data in prospetto); tiene conto inoltre dell'invecchiamento, del costipamento dei materiali sfusi, della manipolazione e della installazione eseguita a regola d'arte (è impossibile tenere conto dell'influenza di una cattiva manipolazione o di una cattiva installazione); tiene conto infine della tolleranza sullo spessore quando esso è uguale a 10 cm (è perciò necessario un calcolo della sua influenza effettiva per spessori minori di 10 cm). Non tiene invece conto delle tolleranze sulle masse volumiche nominali.

Se le effettive condizioni di esercizio del materiale o del manufatto non coincidono con quelle indicate, occorre ricalcolare i coefficienti di correzione  $m$ .

Quando lo spessore dell'isolante è minore di 10 cm, le maggiorazioni percentuali  $m$  possono essere modificate solo per tener conto della effettiva influenza delle tolleranze nello spessore, come accennato sopra. È invece possibile modificare la conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$  in funzione dello spessore, se è nota la dipendenza di  $\lambda_m$  da questo parametro.

Quando sono reperibili dati di letteratura relativi ai soli dati di laboratorio o sono reperibili solo indicazioni di larga massima ai fini dei calcoli, il valore di  $m$  è stato omissso.

CONDUTTIVITA' TERMICA (UNI 10351)

...

**Conduttività utile di calcolo  $\lambda$**

La colonna delle conduttività utili di calcolo  $\lambda$  è stata ricavata applicando le maggiorazioni  $m$  alla conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$ .

**Osservazioni**

Per valutare i materiali non elencati nel prospetto, in merito ai quali non esistono specifiche norme UNI o per accertare se le caratteristiche di un prodotto siano migliori di quelle indicate, occorre disporre di documentazione che consenta di definire su basi statistiche il valore della conduttività apparente o misurabile in laboratorio, nelle condizioni sopra citate e cioè che non deve essere superato dal 90% della produzione considerata.

A detto valore, considerando con la dovuta cautela le maggiorazioni attribuite nella presente norma a materiali con caratteristiche simili, si applica poi una maggiorazione  $m$  che tenga conto nelle effettive condizioni di esercizio, del contenuto di umidità, dell'invecchiamento e del costipamento e che tenga conto dell'effetto della manipolazione e della installazione eseguita a regola d'arte, nonché delle tolleranze sullo spessore.

*Nota — Una sola prova di laboratorio non fornisce al progettista informazioni circa i valori medi e circa la dispersione della produzione.*

PARETE VERTICALE: ISOLANTE (UNI 10351)

(Lana di vetro)

— fibre di vetro	11	} ≈ 150	} ≈ 150	0,048	} 10	0,053
— feltri resinati	14			0,044		0,048
	16			0,042		0,046
— pannelli semirigidi	16	} ≈ 150	} ≈ 150	0,042	} 10	0,046
	20			0,039		0,043
	30			0,036		0,040
— pannelli rigidi (i valori minimi della conduttività corrispondono a densità comprese tra 30 e 100 kg/m <sup>3</sup> )	100	≈ 150	≈ 150	0,035	10	0,038
— fibre minerali ottenute da rocce feldspatiche						
— feltri resinati	30	} ≈ 150	} ≈ 150	0,041	} 10	0,045
	35			0,040		0,044
	40			0,038		0,042
— pannelli semirigidi	40	} ≈ 150	} ≈ 150	0,038	} 10	0,042
	55			0,036		0,040
	80			0,035		0,039
— pannelli rigidi	100	} ≈ 150	} ≈ 150	0,034	} 10	0,038
	125			0,034		0,038
	100			0,044		0,048
— pannelli in fibre orientate	100	≈ 150	≈ 150	0,044	10	0,048

PARETE VERTICALE: ISOLANTE (UNI 10351)

(Polistirene)

— polistirene (contenuto di umidità in pareti interne <sup>9)</sup> da 1 a 2%; per applicazioni contro il terreno <sup>9)</sup> sino al 20%; per i prodotti estrusi i valori di umidità indicati devono essere circa dimezzati. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni % di umidità)						
— espanso sinterizzato per alleggerimento strutture	15	3,6 a 9	3,6 a 9	0,041	10	0,045
— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi (conforme a UNI 7891, le masse volumiche sono quelle nominali indicate nella norma; conduttività di riferimento ricalcolate a 293 K e per 10 cm di spessore)	20	} 2,5 a 6	} 2,5 a 6	0,037	} 10	0,041
	25			0,036		0,040
	30			0,036		0,040
— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	10	3,6 a 9	3,6 a 9	0,051	10	0,059
	15	} 2,5 a 6	} 2,5 a 6	0,043	} 10	0,047
	20			0,040		0,044
	25			0,039		0,042
	30	1,8 a 4,5	1,8 a 4,5	0,038	10	0,042
		$\rho$	$\delta_s \cdot 10^{12}$	$\delta_v \cdot 10^{12}$	$\lambda_m$	$m$
		(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/msPa)	(kg/msPa)	(W/mK)	%
— espanso, in lastre stampate per termocompressione	20			0,036	10	0,040
	25			0,035	10	0,039
	30			0,035	10	0,039
— espanso estruso, con pelle (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio anche all'esterno senza protezione dall'acqua; per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)	30			0,031	10	0,036
	35			0,030	10	0,035
— espanso estruso, senza pelle (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio, per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)	30	} 0,6 a 2,2	} 0,6 a 2,2	0,037	} 10	0,041
	50			0,028		0,034

**SOLAIO DI COPERTURA: ISOLANTE (UNI 10351)**

(Poliuretano)

— poliuretani (contenuto di umidità in pareti interne<sup>3)</sup> pari a 1%, in montaggi contro il terreno<sup>9</sup> fino al 10%. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni % di umidità. Il valore di  $m$  è principalmente dovuto a fenomeni di invecchiamento: essi possono durare decine di anni. L'invecchiamento è dovuto alla diffusione degli agenti schiumanti verso l'atmosfera e dell'aria all'interno del poliuretano espanso; i valori di  $m$  qui proposti si riferiscono a materiali senza membrane protettive contro i fenomeni di diffusione; una membrana metallica continua di spessore superiore a 0,05 mm annulla quasi completamente i fenomeni di diffusione per cui  $m$  può essere ridotto in questo caso al 10%. Mancano invece informazioni attendibili per altri tipi di membrane)

10% (erratum corrige)

— poliuretani in lastre ricavate da blocchi	25	1 a 2	0,031	10	0,034
	32		0,023	40	0,032
	40		0,022	45	0,032
	50		0,022	45	0,032
— poliisocianurati in lastre ricavate da blocchi	32	1 a 2	0,025	30	0,032
	40	1 a 2	0,023	40	0,032
— poliuretani espansi in situ	37	1,8 a 6	0,023	50	0,035

**PARETE VERTICALE: LATERIZI (UNI 10351)**

(Laterizi)

**Laterizi**

Per mattoni forati la conduttività non è definibile né misurabile; i valori assegnati a  $\lambda_m$  e a  $\lambda$  devono intendersi pertanto solamente come grandezze dimensionalmente equivalenti a conduttività termiche ricavabili dal prodotto delle conduttanze per lo spessore. Le masse volumiche e le conduttività indicative di riferimento  $\lambda_m$  si riferiscono al solo laterizio (incluendo nel volume del laterizio fori e porosità), mentre le conduttività utili di calcolo si riferiscono alla muratura completa; ne consegue che la maggiorazione  $m$  non tiene conto degli usuali fattori di maggiorazione, ma con-

Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_i \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
globa anche l'effetto della presenza delle malte tra laterizio e laterizio. Le presenti indicazioni sono necessariamente di prima approssimazione; dati più rigorosi possono essere valutati conoscendo il tipo di laterizio e il tipo di malta che compongono la muratura. Per ulteriori informazioni vedere UNI 10355. Valori di calcolo relativi a pareti interne con umidità dello 0,5% <sup>3)</sup> ; per pareti esterne con umidità dell'1,5%: raddoppiare i valori di $m$ .						
— mattoni pieni, forati, leggeri,	600	18 a 36	18 a 36	0,13	90	0,25
mattoni ad alta resistenza meccanica	800			0,18	65	0,30
	1 000			0,24	48	0,36
	1 200			0,32	35	0,43
	1 400			0,40	25	0,50
	1 600			0,50	18	0,59
	1 800			0,63	14	0,72
	2 000			0,80	12	0,90

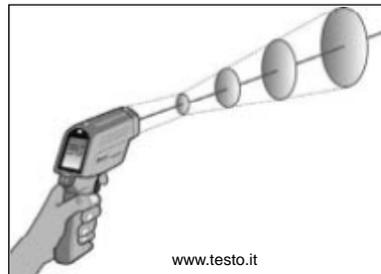
MISURE DI  
PARAMETRI AMBIENTALI

TEMPERATURE DELL'ARIA, RADIANTI, SUPERFICIALI



Sonda  
globotermometrica  
( $T_{GT}$ )

[www.testo.it](http://www.testo.it)



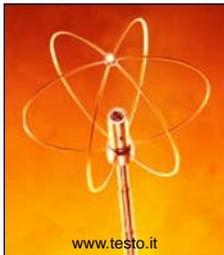
pirometro all'infrarosso

[www.testo.it](http://www.testo.it)

UMIDITA', VELOCITA' DELL'ARIA E TURBOLENZA



Psicrometro ( $T_a$  e  $T_{WB} \Rightarrow \rho_v$ )



www.testo.it

Anemometro a filo caldo ( $v_a$ ,  $T_a$ )



Sonda per misure di turbolenza ( $T_u$ )

MISURE DI PARAMETRI AMBIENTALI (CENNI)

Vanno generalmente effettuate nelle posizioni occupate dalle persone:

posizione seduta  $\Rightarrow 0.1 \div 0.6$  m e 1.1 m

posizione eretta  $\Rightarrow 0.1 \div 1.1$  m e 1.7 m

Si devono effettuare campionamenti in condizioni termigrometriche stabilizzate, in numero e/o per un periodo temporale adeguati (dipendenti dal tipo di misura effettuata e di sensore impiegato).