



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102010901830140
Data Deposito	16/04/2010
Data Pubblicazione	16/10/2011

Classifiche IPC

Titolo

METODO TERMOGRAFICO DI MISURA DEL FLUSSO TERMICO ATTRAVERSO L'INVOLUCRO EDILIZIO E DELLA TRASMITTANZA TERMICA
--

Brevetto d'invenzione in Italia, dal Titolo:**Metodo termografico di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio e della trasmittanza termica****Titolare:**

Grinzato Ermanno

Inventore

Grinzato Ermanno

Descrizione:

Il metodo di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio di seguito descritto è caratterizzato dal fatto di rilevare le condizioni termiche sul lato esaminato mediante un sistema termografico calibrato automaticamente. Il metodo si compone di una apparecchiatura e di una procedura; il metodo permette la misura della trasmittanza termica dell'edificio.

L'apparecchiatura di misura è composta dai seguenti elementi, che sono indicati sul disegno principale:

- un sistema termografico (1), anche di tipo industriale, montato su di un supporto meccanico dotato di brandeggio (2), che consente di scandire la superficie esaminata. Il brandeggio può essere azionato manualmente o in modo automatico, mediante motori comandati dall'unità di controllo (3). L'unità di controllo potrà implementare un algoritmo di visione artificiale delle mire (4), che ne consente il riconoscimento, l'identificazione delle aree specifiche e la misura termica e geometrica delle superfici esaminate. Un dettaglio di una mira è ingrandito nell'angolo in basso a sinistra del disegno principale. L'algoritmo sfrutta la particolare disposizione e caratteristiche delle sub-aree, che compongono le mire. Inoltre, l'unità di controllo è in grado di registrare le immagini, eseguire i calcoli per ottenere le mappe corrette di temperatura e visualizzare i risultati, anche su di un modello dell'edificio in scala.
- un sistema di riferimento e calibrazione, composto da un sostegno meccanico (6) leggero, smontabile ed adattabile alla forma e dimensione della superficie da esaminare, che viene collocato in prossimità di detta superficie in modo da poter



rilevare le condizioni termodinamiche dell'ambiente mediante una rete di apposite mire (4). Le mire vengono disposte in modo da formare una griglia di geometria nota con densità adeguata all'ottica del sistema termografico. La figura 1 mostra la griglia di riferimento posizionata in prossimità della parete. La calibrazione geometrica di tutti i risultati della misura e cioè delle varie mappe di temperatura, e flussi rilevati si ottiene dall'analisi delle immagini termografiche, dato che la posizione della griglia nello spazio della stanza è nota oppure è determinata con calcolo automatico. Il sistema di riferimento consente la correzione dell'errore prospettico di ripresa e la messa a registro delle immagini sulla geometria della stanza, espressa in unità metriche. Ciascuna mira è composta da più sub-aree realizzate con materiali e trattamenti superficiali atti a garantire caratteristiche termiche e radiometriche specifiche. In particolare le sub-aree sono almeno quattro, come di seguito specificato: una prima superficie (S_1) dedicata alla misura della temperatura dell'aria; una seconda superficie (S_2) atta alla valutazione del flusso radiante compreso nella banda del visibile e del vicino infrarosso (NIR) incidente sulla superficie; una terza superficie riflettente in modo diffuso (S_3) atta a determinare la radiazione infrarossa (IR) incidente sulla superficie e da essa riflessa; una quarta superficie (S_4) dedicata alla localizzazione delle mire. La figura 1 mostra un ingrandimento di una mira. Ciascuna superficie elementare ha forma e dimensioni note, parimenti noti sono il coefficiente di riflessione nelle componenti spettrali, da cui si ricava l'emissività, dato che il coefficiente di trasmissione è nullo. L'inerzia termica delle varie superfici è adatta a realizzare un filtro passa-basso sulle frequenze dei disturbi tipici delle grandezze misurate, ma sufficientemente bassa per poter seguire la dinamica delle grandezze misurate. In pratica, la risposta dinamica del sistema di misura può essere adattata ai vari casi di interesse, ottenendo un segnale filtrato dai disturbi.

- Unità accessorie di misura e registrazione della temperatura dell'aria, sia interna (4 nel disegno principale), che esterna. La temperatura dell'aria interna è utilizzata per la calibrazione delle misure termografiche, mentre quella dell'aria esterna per il calcolo della trasmittanza.

La procedura di misura prevede i seguenti passi:



- 1) montaggio e posizionamento della griglia di supporto dei riferimenti radiometrici (mire), disposti a distanza nota ed in prossimità dell'elemento edilizio da esaminare, in modo da estendersi sulla superficie. In caso di superfici molto ampie (maggiori di 20 m^2), il processo potrà essere ripetuto previo spostamento del sistema ad un'area adiacente, fino a copertura della superficie da esaminare;
- 2) attivazione del termometro dotato di registratore per la misura della temperatura dell'aria posto in vicinanza di una mira, per la calibrazione termica;
- 3) posizionamento sulla superficie esaminata di un materiale adesivo di emissività alta e nota nelle bande IR ($\varepsilon \approx 0.97$) e riflettanza simile a quella della superficie nella banda visibile;
- 4) scansione della griglia da postazione centrale con un sistema termografico, che inquadra contemporaneamente almeno tre mire e registrazione dei singoli termogrammi;
- 5) attivazione della procedura di calcolo automatico del sistema di controllo.

I risultati delle misure sono prodotti, visualizzati e registrati automaticamente dal sistema di controllo oppure manualmente e prevedono i seguenti passi:

- 1) localizzazione delle mire attraverso l'analisi delle immagini con riconoscimento da parte dell'operatore, oppure automatico delle sub-aree a differente comportamento termico; in particolare è possibile identificare nei termogrammi il confine tra le sub-aree per il loro alto contrasto termico;
- 2) rilevazione della temperatura radiante su ogni superficie di tipo S_3 presenti nelle mire;
- 3) Calcolo dell'emissività della parete;
- 4) Calibrazione termica e geometrica delle misure termografiche;
- 5) Calcolo della temperatura della superficie (T_w). La Figura 2a mostra la mappa della temperatura di parete così calcolata;
- 6) calcolo della temperatura dell'aria (T_a) ottenuta interpolando i valori misurati sul quadrante S_1 di ogni mira, una volta che questa sia in equilibrio termico con l'aria circostante. La Figura 2b mostra la mappa della temperatura dell'aria così calcolata;
- 7) calcolo della differenza di temperatura $(T_a - T_w) = \Delta T_{aw_i}$ [K] tra aria e parete interna, come differenza della mappa di temperatura superficiale ottenuta dalla composizione a mosaico dei singoli termogrammi, messi a registro



Ermanno Grinzato

automaticamente con l'ausilio della griglia di riferimento e la mappa della temperatura dell'aria. La Figura 3 mostra la mappa risultante del gradiente di temperatura tra aria e parete in scala geometrica corretta (unità in centimetri);

- 8) calcolo del flusso termico convettivo $q^c = \alpha_i(T_a - T_w) = \alpha_i \cdot \Delta Taw_i$ scambiato tra superficie e parete in ogni punto, ottenuta utilizzando la mappa ΔTaw_i moltiplicata per il coefficiente di scambio termico convettivo (α_i) determinato per ogni punto con un algoritmo scelto tra quelli disponibili in letteratura, come ad esempio il seguente: $\alpha_i = 1.594(\Delta Taw_i)^{0.22}$, oppure sviluppato ad hoc. La Figura 4 mostra la mappa del flusso termico convettivo così calcolata;
- 9) calcolo del flusso termico scambiato per irraggiamento tra le superfici adiacenti e quella esaminata, con il seguente algoritmo: $q^r = \sigma \cdot \varepsilon (T_r^4 - T_w^4)$; dove σ è la costante di Stefan-Boltzman ($\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ kg s}^{-3} \text{ K}^{-4}$) and ε è l'emissività della superficie. La Figura 4 mostra la mappa del flusso termico radiante così calcolato.
- 10) calcolo del flusso termico totale scambiato dalla superficie esaminata, sommando quello radiante con quello convettivo ($q = q^r + q^c$). La Figura 5 mostra la mappa del flusso termico specifico espresso in W m^{-2} così calcolato.

Assumendo il valore del flusso termico ottenuto con il presente metodo e mediato su tutta la superficie esaminata è possibile determinare la trasmittanza (U) della parete dalla seguente relazione:

$$U = h_i \frac{\Delta Taw_i}{\overline{Ta_i} - \overline{Ta_o}}$$

dove h_i è il coefficiente di scambio termico liminare sulla superficie interna calcolato come media sulla superficie esaminata in accordo al presente metodo di misura del flusso termico, che attraversa la superficie, dalla relazione:

$$h_i = \frac{\Delta Taw_i}{q}$$

$\overline{Ta_i}$ è la media della temperatura dell'aria calcolata all'interno dell'edificio in accordo al presente metodo; $\overline{Ta_o}$ è la media della temperatura dell'aria esterna calcolata per un periodo significativo di tempo in modo da ottenere una condizione costante (in



accordo con la normativa vigente). A questo scopo, si pone un termometro dotato di registratore per la misura della temperatura dell'aria in vicinanza del lato esterno dell'edificio.

Un'innovazione del metodo descritto è la possibilità di quantificare i valori locali di flusso e quindi l'effettiva incidenza dei ponti termici o delle disomogeneità del flusso termico. Infatti, a riprova di ciò, nella figura 6 sono indicati i valori molto diversi, che si ottengono in tre punti della superficie ($5.03, 13.01, 0.106 \text{ W m}^{-2}$).

Un'altra innovazione consiste nella grande accuratezza della misura, che si ottiene soprattutto in ragione dell'impiego di un solo rilevatore per misurare la distribuzione spaziale del gradiente di temperatura aria-superficie interna ($\Delta T_{a,w_i}$). Oltre a ciò, la misura termografica delle temperature è corretta in base alla migliore pratica descritta dalla letteratura tecnica, per la cosiddetta temperatura radiante (T_r), che viene rilevata in molti punti e precisamente sulla superficie riflettente (S_3) presente su ciascuna mira. Infine, l'eventuale errore di modo comune sulla misura termografica si riduce drasticamente confrontando il valore di temperatura letto dal termometro in aria (accuratezza consigliata di 0.1 K) e la misura termografica ottenuta sulla superficie S_1 della corrispondente mira. Il valore algebrico di questa differenza viene sommato a tutte le misure termografiche.

Un'altra tra le innovazioni del metodo esposto è l'altissima densità di punti di misura prodotti, che sono necessari per la corretta valutazione del flusso termico locale e medio (come valore indicativo una misura per centimetro quadrato).

Secondo il presente metodo è possibile eseguire anche un controllo non distruttivo delle aree soggette a difettosità dei materiali o della loro messa in opera e quantificare il peso dei difetti sulle dispersioni termiche dell'edificio. Le figure 7a e 7b mostrano un esempio di questo controllo, con le aree in giallo corrispondenti ad un isolamento difettoso. Le figure precedenti si riferiscono alla stanza esaminata, che si trova al primo piano in questo edificio ed è indicata dal rettangolo di figura 7a.

Infine, secondo il presente metodo è possibile anche eseguire la misura delle condizioni di confort ambientale in conformità agli standard internazionali. Infatti, il metodo consente di rilevare termograficamente la temperatura radiante, la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e la velocità della stessa.



Ermanno Grinzato

Brevetto d'invenzione in Italia, dal Titolo:**Metodo termografico di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio e della trasmittanza termica****Titolare:**

Grinzato Ermanno

Inventore

Grinzato Ermanno

Rivendicazioni:

- 1) Metodo di misura del flusso termico attraverso il lato esaminato dell'involucro edilizio, caratterizzato dal fatto di rilevare le condizioni dell'isolamento mediante un sistema termografico appositamente calibrato in temperatura e nello spazio, che prevede le seguenti operazioni:
 - Installazione di una griglia meccanica di supporto alle mire di riferimento in prossimità della superficie da esaminare e dotata di un termometro calibrato;
 - Posizionamento di un sistema di mire operanti come riferimenti radiometrici e geometrici;
 - Scansione geometrica della superficie con il sistema termografico posizionato su di un brandeggio manuale o automatico;
 - Soluzione del problema termico in funzione della differenza di temperatura tra aria e superficie, nonché misura automatica o manuale dell'emissività e della temperatura radiante sulla superficie;
 - Misura molto accurata della differenza di temperatura tra aria e superficie mediante la termografia IR e loro messa a registro su di una rappresentazione in uno spazio in due o tre dimensioni dell'edificio;
 - Misura automatica del coefficiente di scambio termico locale e globale per convezione tra superficie e ambiente.
 - Misura automatica del flusso termico locale e globale scambiato per irraggiamento tra superficie e ambiente.



- Misura automatica del flusso termico specifico locale e globale, con risoluzione spaziale di circa 1 cm e possibilità di ottenere valori medi su ogni area d'interesse.
- 2) Metodo di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio, secondo la rivendicazione precedente, caratterizzato dal fatto di rilevare il valore locale e medio del flusso termico a mezzo di una calibrazione geometrica delle immagini termografiche ottenuta attraverso l'analisi di più termogrammi composti a mosaico tra loro, previa correzione delle distorsioni geometriche e radiometriche, con la scansione della superficie eseguibile da un sistema di visione artificiale con riconoscimento automatico delle mire termiche.
 - 3) Metodo di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio, secondo le rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di rilevare il valore locale e medio del flusso termico in corrispondenza dei ponti termici mediante un sistema termografico appositamente calibrato in temperatura e nello spazio.
 - 4) Metodo di misura del coefficiente di scambio termico liminare dell'involucro edilizio, secondo le rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di rilevare il valore locale e medio di tale coefficiente mediante un sistema termografico appositamente calibrato in temperatura e nello spazio.
 - 5) Metodo di misura della trasmittanza termica dell'involucro edilizio, secondo le rivendicazioni precedenti, in cui detti mezzi di rilevazione termografica cooperano con misure e registrazioni della temperatura dell'aria esterna in vicinanza della superficie esaminata e per un tempo adeguato, in precedenza e durante la misura del flusso termico specifico attraverso la parete interna, la disposizione essendo tale per cui detti mezzi di rilevazione termografica forniscono il flusso termico in moltissimi punti ed un tempo sufficiente ad ottenere una media significativa, senza contatto con la superficie.
 - 6) Dispositivi (*mire*) di calibrazione radiometrica, caratterizzati dal fatto di avere ciascuno forma e dimensioni note e comprendere almeno le seguenti sub-aree, atte a cooperare con mezzi di rilevazione termografica: una prima superficie (S_1) costituita con un film di materiale plastico opaco ad inerzia



termica calibrata ricoperto con una pittura ad emissività nota e prossima all'unità nella banda IR e bassa emissività nella banda visibile, in modo da cooperare con il sistema termografico per la misura della temperatura dell'aria; una seconda superficie (S_2) ad inerzia termica calibrata rivestita con un film ad emissività nota e prossima all'unità nella banda IR e nella banda visibile; una terza superficie (S_3) rivestita con un film riflettente in modo diffuso; una quarta superficie (S_4) costituita da una speciale calza idrofila atta ad assorbire per capillarità acqua, un serbatoio sottostante la calza riempito di acqua demineralizzata, ove la parte inferiore di (S_4) è immersa.

- 7) Dispositivo (*griglia*) di calibrazione termica e geometrica, caratterizzato dal fatto di sostenere le mire in posizione e numero note; il dispositivo è dotato di un accurato termometro atto a misurare e registrare la temperatura dell'aria in corrispondenza ad una mira; il dispositivo è facilmente smontabile e trasportabile e si adatta alla forma delle superfici da esaminare.
- 8) Dispositivo di brandeggio automatico o manuale, atto a sostenere e cooperare con il sistema termografico ed inquadrare almeno tre mire contemporaneamente, in modo da riconoscere la loro disposizione spaziale entro il volume della stanza; detto dispositivo può essere controllato dall'elaboratore digitale, che implementa un algoritmo di visione artificiale e coopera con il suddetto metodo di misura del flusso termico attraverso la superficie dell'involucro edilizio, secondo le rivendicazioni precedenti.
- 9) Dispositivo di controllo digitale del sistema, che coopera con il suddetto metodo di misura del flusso termico attraverso la superficie dell'involucro edilizio, secondo le rivendicazioni precedenti e svolge i seguenti compiti:
 - acquisisce e registra le immagini termografiche in formato radiometrico;
 - può eseguire il riconoscimento automatico delle mire e controlla i motori del brandeggio;
 - calcola la posizione relativa della griglia in relazione al volume dell'edificio;
 - esegue la correzione della distorsione prospettica dei termogrammi in base alla configurazione apparente delle mire ed esegue il calcolo della omografia;
 - compone a mosaico le immagini termografiche;
 - esegue la calibrazione spaziale delle immagini termografiche;



Ermanno Grinzato

- rileva il segnale radiometrico medio all'interno delle sub-aree di tutte le mire;
- stima l'emissività della superficie esaminata in base ad un materiale di riferimento posto in buon contatto termico con essa;
- determina la temperatura riflessa dalla superficie esaminata, proveniente dall'ambiente;
- calcola la temperatura dell'aria in base ai segnali termografici rilevati sulle sub-aree S_1 delle mire, secondo le rivendicazioni precedenti;
- esegue la calibrazione termica sommando a tutte le misure termografiche la differenza algebrica tra il valore rilevato dal termometro posto sulla griglia ed il corrispettivo valore, letto dalla termocamera sulla sub-area S_1 della stessa mira;
- presenta i risultati del metodo di misura del flusso termico attraverso la superficie dell'involucro edilizio, secondo le rivendicazioni precedenti, proiettati su di un modello geometrico in scala dell'edificio, in due o tre dimensioni.

10) Metodo di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio, secondo le rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di calcolare la posizione nello spazio e l'estensione di difettosità dei materiali o della loro messa in opera, eventualmente presenti, eseguendo un controllo non distruttivo delle aree soggette a difettosità e quantificando il peso relativo di ciascun difetto sulle dispersioni termiche totali dell'edificio.

11) Misura delle condizioni di confort ambientale in conformità agli standard internazionali, in cui detti mezzi di rilevazione termografica dei parametri termici delle superfici e dell'aria cooperano con modelli matematici disponibili in letteratura, che utilizzano i valori ricavati dalle rilevazioni ambientali locali ottenute con i suddetti mezzi, secondo le rivendicazioni precedenti.

Ermanno Grinzato



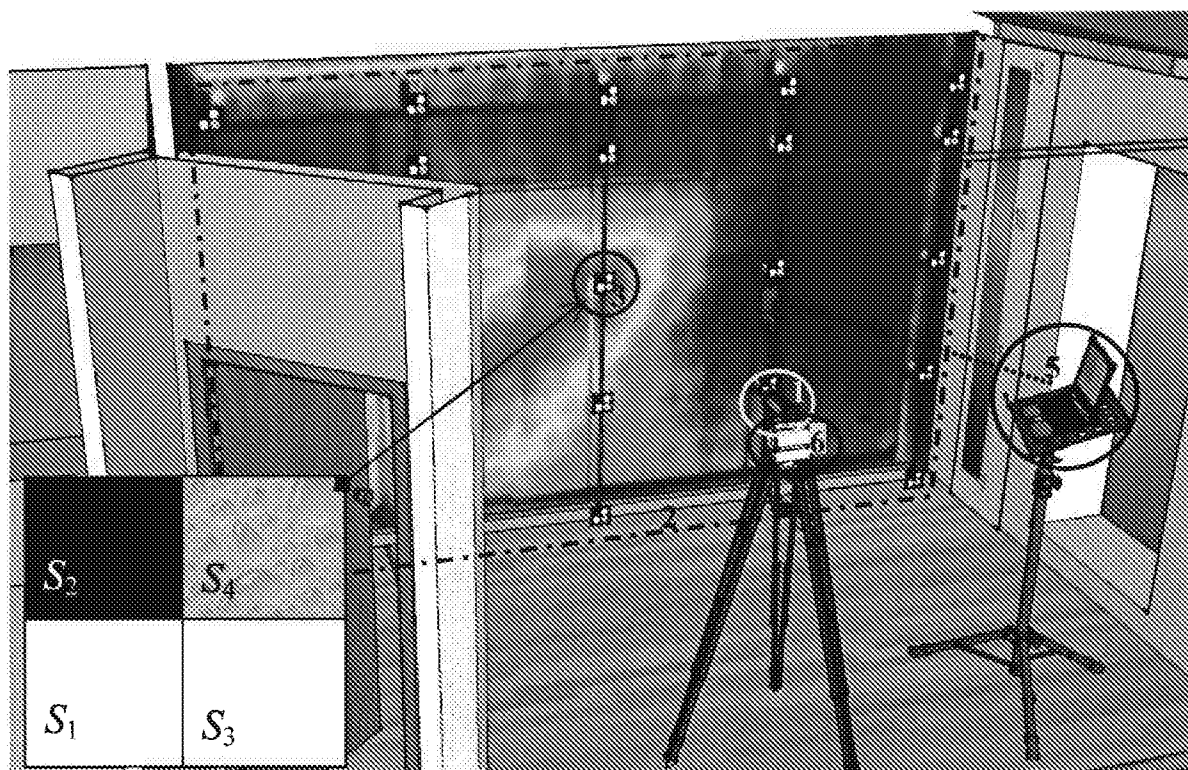
Brevetto d'invenzione in Italia, dal Titolo:

Metodo termografico di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio e della trasmittanza termica

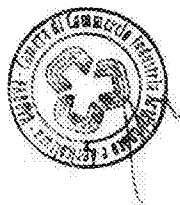
Titolare e Inventore:

Grinzato Ermanno

Disegni:



Disegno principale (1) Schema del metodo di misura del flusso termico attraverso l'involucro edilizio, che è visualizzato in $W m^{-2}$ sulla parete frontale in scala di falsi colori, nonché la strumentazione necessaria, collocata all'interno di un edificio e la misura della trasmittanza termica; composta da: un'apparecchiatura termografica (1); una griglia di calibrazione posta in vicinanza della parete (2); che sostiene le mire di riferimento (3), vista in dettaglio nell'angolo in basso a sinistra); un termometro di calibrazione (4), che registra la temperatura dell'aria; il sistema è dotato di unità di controllo, registrazione, elaborazione e visualizzazione dati (5); e di brandeggio della termocamera (6).



Ermanno Grinzato

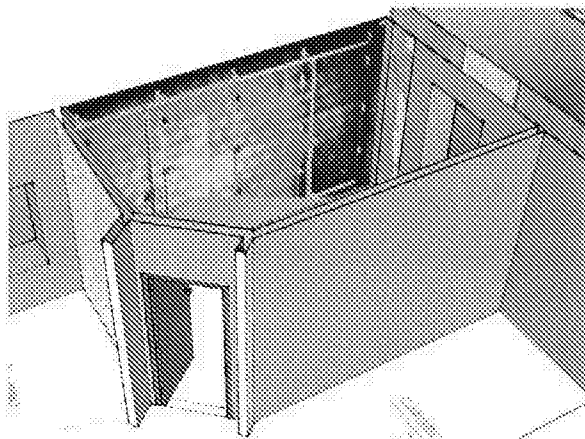


Figura 2a. Temperatura superficiale, della parete interna (esposta a nord)

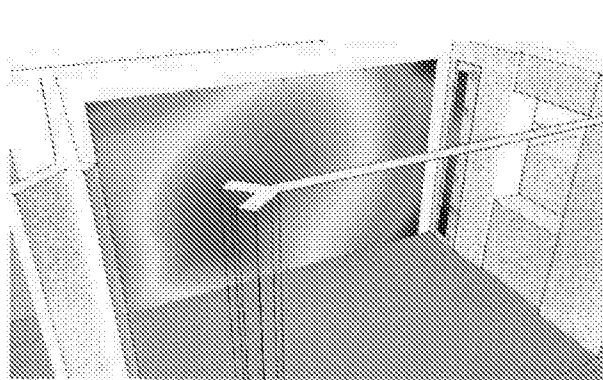


Figura 2b. Temperatura dell'aria interna a 10 cm dalla parete della stanza

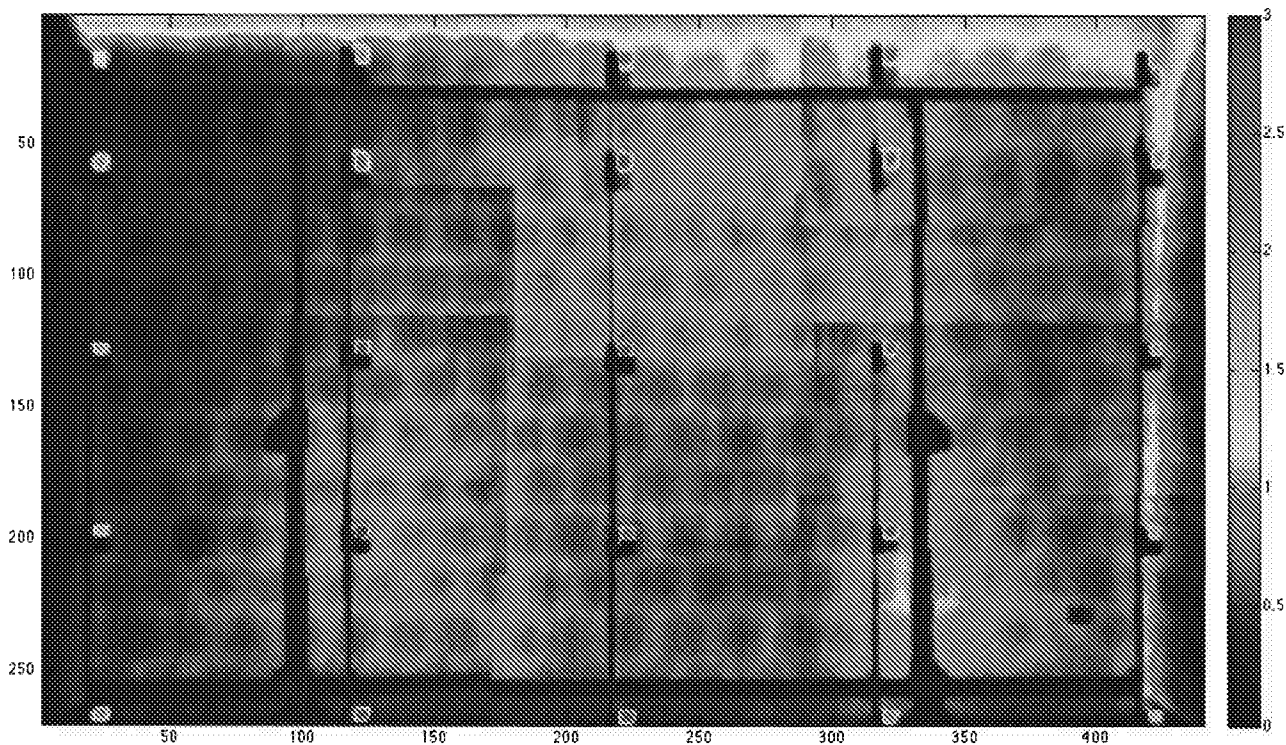


Figura 3. Differenza di temperatura tra aria e parete; le unità della scala orizzontale e verticale sono cm, la temperatura è espressa in K



Ermanno Grinzato

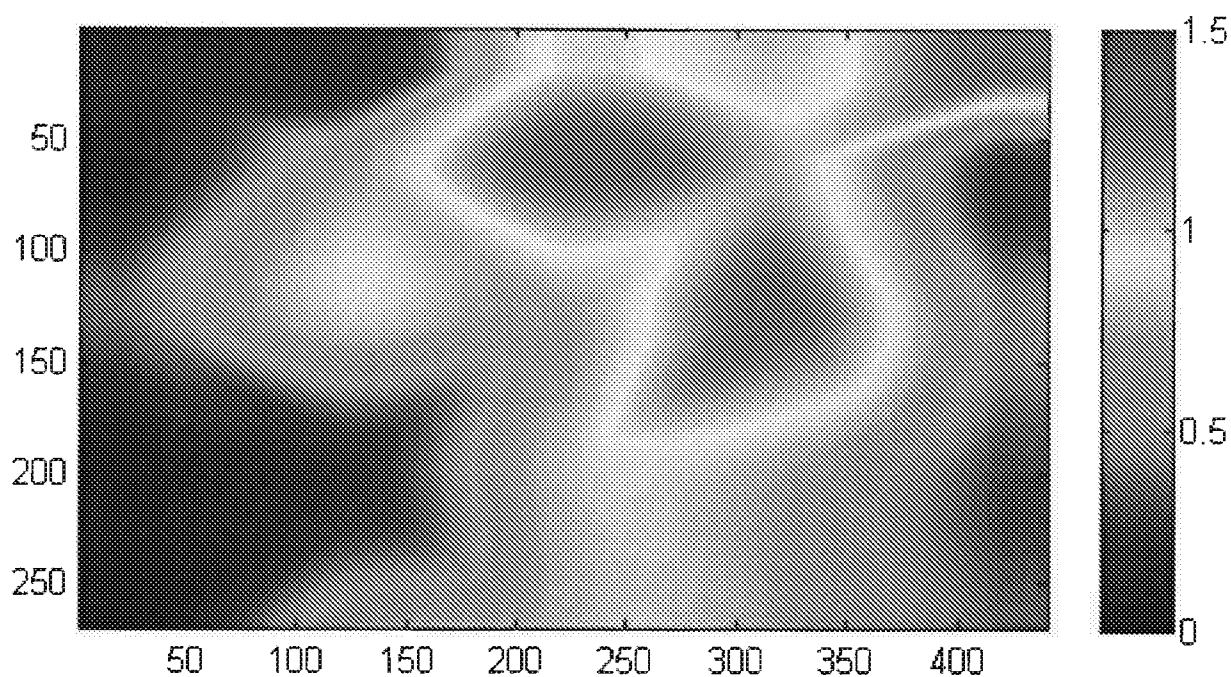


Figura 4. Mappa del flusso termico convettivo locale specifico calcolato con il metodo termografico considerando la temperature di riferimento dell'aria quella a 10 cm dalla superficie; la scala geometrica è in centimetri quella del flusso in $W m^{-2}$

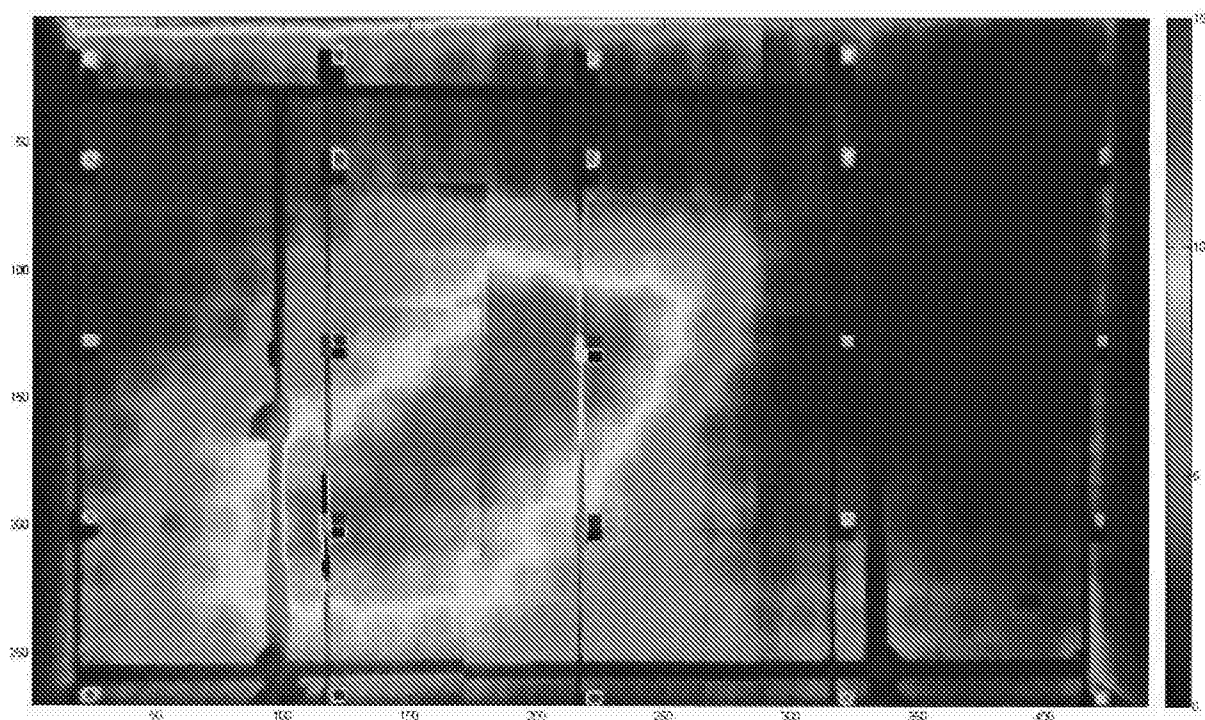
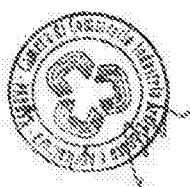


Figura 5. Mappa del flusso termico radiante locale specifico calcolato con il metodo termografica; la scala geometrica è in centimetri quella del flusso in $W m^{-2}$



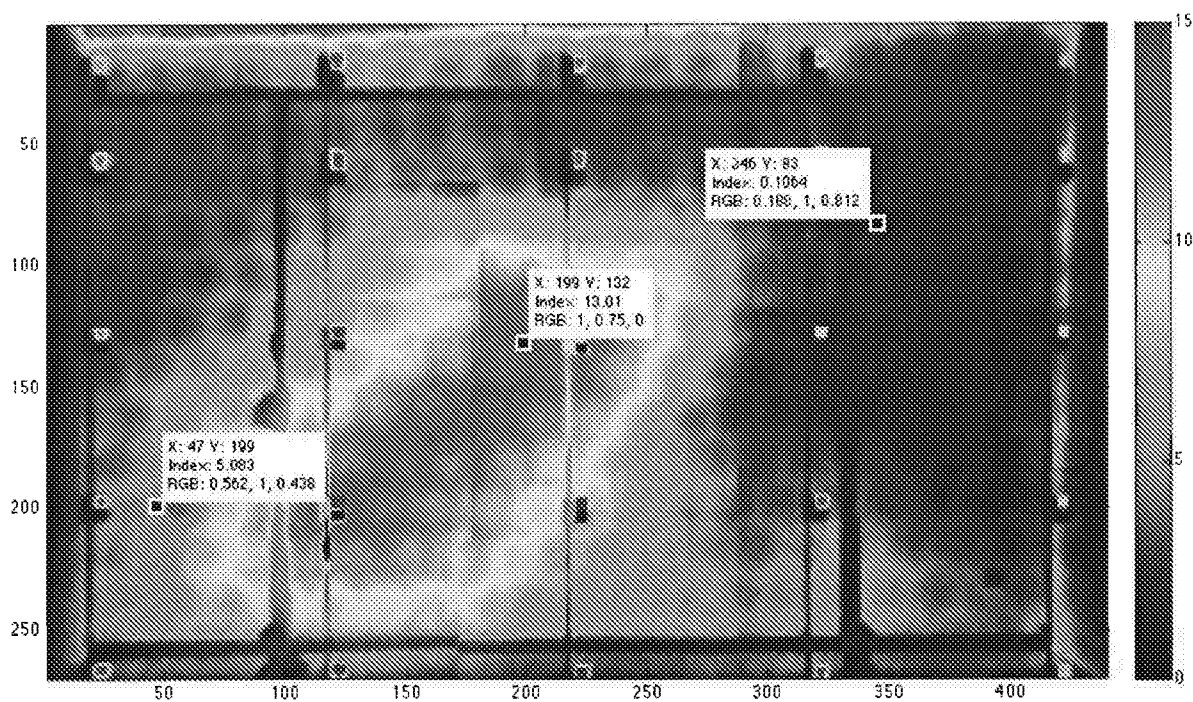


Figura 6. Mappa del flusso termico locale specifico $q(x,y)$ [W m^{-2}] calcolato con il metodo termografico utilizzando i valori locali di h_i and T_{a_i} ; sono indicati i valori molto diversi, che si ottengono in tre punti differenti (5.03, 13.01, 0.106 W m^{-2})

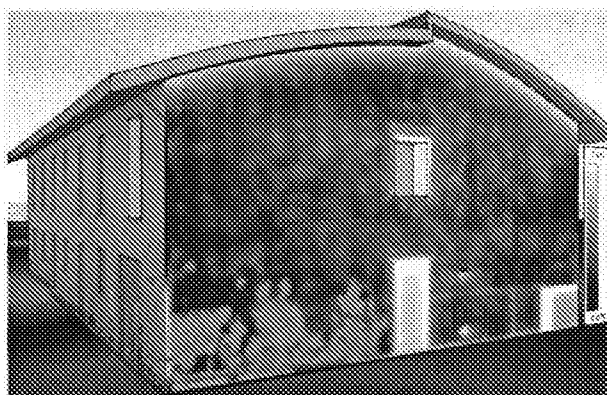
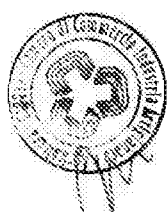


Figura 7a. Temperatura superficiale, della parete esterna della stanza; il rettangolo indica la stanza esaminata dall'interno,



Figura 7b. Controllo termografico della parete esterna; i valori in giallo indicano difetto di isolamento



Ermanno Grinzato