



# Principi di funzionamento e di utilizzo della termografia

di David Savoia

*L'articolo riprende, sia pur con un taglio diverso, un argomento già trattato sul numero speciale della Rivista pubblicato in occasione del 65° Anniversario de "Il Perito Industriale" (gennaio/febbraio 2005). Entrambi gli articoli, che per certi aspetti sono complementari, assumono, nel contesto della diagnosi e della certificazione energetica in edilizia, una particolare importanza, dato che la termografia - se "usata da mani esperte" - può essere un efficace ausilio per la ricerca di interventi finalizzati alla riduzione delle perdite di calore negli edifici e negli impianti*

Con l'attuale necessità italiana di inseguire in notevole ritardo gli obiettivi del Protocollo di Kyoto, tutto quanto concerne il risparmio energetico assume a primario argomento di interesse e la termografia, quale possibile strumento diagnostico delle dispersioni termiche, è divenuta nuovamente di attualità, così come assunse per la prima volta un ruolo innovativo nel Nord America durante la prima crisi petrolifera degli anni '70.

In realtà è doveroso preliminarmente sfatare un mito, ovvero spiegare che la termografia, per le sue caratteristiche, non fa miracoli e non può sostituirsi ad un'accurata diagnosi energetica dei fabbricati eseguita sulla base di rilievi e specifiche procedure di calcolo. Resta però uno strumento molto valido, utilizzato in edilizia nei Paesi a tecnologia avanzata quali: Canada, Stati Uniti, Regno Unito e Germania.

Per comprendere appieno pregi e difetti, possibilità e limiti di questa tecnologia diagnostica, occorre chiarirne anzitutto il funzionamento e la storia.

È noto che la trasmissione del calore avviene in tre modi differenti: conduzione, convezione e irraggiamento.

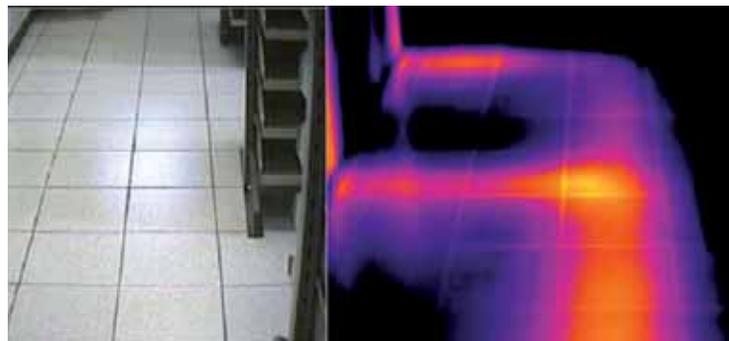
Se poniamo un corpo caldo in una camera "a vuoto", in teoria perfettamente isolata, noteremo che comunque il calore è trasmesso sino a che non si raggiunge un regime di equilibrio termico tra corpo e camera, cioè il corpo perde calore e le pareti della camera lo acquisiscono. È evidente che la cessione termica non può essere avvenuta per conduzione, poiché il corpo non è a contatto con la camera, né può essere avvenuta per convezione, poiché il corpo è circondato dal vuoto. Se ne deduce che la trasmissione del calore per irraggiamento ha una caratteristica particolare rispetto alle altre: non richiede mezzi materiali per il trasferimento.

Altra sua peculiarità è la velocità, pari a quella della luce di circa 300.000 km/sec, senza attenuazione nel vuoto; ne è un esempio l'energia termica solare che, a causa della distanza e dovendo attraversare spazi vuoti, raggiunge la Terra soltanto per irraggiamento.

Se ne può trarre un'ulteriore considerazione che distingue la trasmissione per irraggiamento: il calore, infatti, si trasmette in via naturale per conduzione, convezione e irraggiamento da un corpo più caldo ad uno più freddo; solo l'energia radiante però può essere trasferita an-



Evidenziazione di serramenti difettosi e ponti termici



Individuazione di perdita di tubazioni sotto pavimento



che attraverso il vuoto o strati freddi come avviene nel caso dell'irraggiamento solare.

La radiazione termica è quella parte dello spettro elettromagnetico che genera energia termica.

Le radiazioni elettromagnetiche hanno un campo di lunghezze d'onda molto esteso, da meno di  $10^{-10}$   $\mu\text{m}$  (raggi cosmici) a più di  $10^{+10}$   $\mu\text{m}$  (applicazioni elettriche industriali).

Le onde elettromagnetiche, pur avendo la stessa natura, hanno origine e comportamenti fisici molto diversi a seconda della lunghezza d'onda.

La lunghezza d'onda della radiazione termica varia da 0,1  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  ed è causata dai moti rotatori e vibratori delle molecole, atomi ed elettroni di una sostanza.

Una delle espressioni per misurare l'intensità di tali fenomeni è la temperatura: quando aumenta, incrementa anche la radiazione termica emessa da un corpo. È chiaro quindi il motivo per cui la temperatura, in elevazione, può assumere valori tendenti all'infinito (grande stato di agitazione molecolare, atomica e degli elettroni), mentre verso il basso ha un valore limite ben determinato, pari a circa -273 °K, corrispondente allo stato assoluto di quiete della materia.

La lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica visibile, cioè quella radiazione cui è sensibile l'occhio umano, varia da 0,40  $\mu\text{m}$  (colore violetto) a 0,76  $\mu\text{m}$  (colore rosso).

Al di sotto della lunghezza d'onda di 0,40  $\mu\text{m}$ , cioè a frequenza maggiore del visibile, si hanno radiazioni ultraviolette, mentre al di sopra della lunghezza d'onda di 0,76  $\mu\text{m}$ , fino a 100  $\mu\text{m}$ , cioè a frequenza più bassa rispetto al campo visibile, si hanno radiazioni infrarosse.

Si nota inoltre che lo spettro di emissione delle radiazioni infrarosse è amplissimo, molto più elevato rispetto allo spettro delle onde elettromagnetiche visibili. La radiazione elettromagnetica, rispetto agli oggetti che incontra, si comporta come quella visibile: può essere riflessa, rifratta, assorbita ed emessa.

Quando la radiazione incide su una superficie, in parte è assorbita, in parte è riflessa e, se ne rimane, in parte è emessa.

Le tre frazioni di irradiazione sono così

definite:  $\alpha$  quella assorbita,  $\rho$  quella riflessa e  $t$  quella emessa, la cui somma è sempre pari ad 1, cioè  $\alpha + \rho + t = 1$ .

Nelle superfici opache la radiazione emessa è prossima allo 0, avendo solo assorbimento e riflessione, per cui si ha  $\alpha + \rho = 1$ .

Quando le superfici sono lisce riflettono la radiazione in modo speculare (a specchio), mentre quando sono rugose riflettono in modo diffuso (in tutte le direzioni).

Tutti gli oggetti emettono radiazioni infrarosse in funzione della loro temperatura.

La radiazione infrarossa non è visibile dall'occhio umano, come invece avviene in natura per i serpenti a sonagli, che possono vedere di notte il calore corporeo degli animali a sangue caldo, o come le api che sono sensibili alla radiazione ultravioletta.

La radiazione infrarossa può essere rilevata da speciali telecamere (termocamere) che, tramite elaborazione elettronica, conferiscono alle immagini gradualità di colore proporzionali alle temperature superficiali rilevate.

Un'immagine prodotta da una termocamera è chiamata termogramma, che è praticamente la "fotografia" delle emissioni elettromagnetiche dell'energia infrarossa.

Le termocamere comunemente utilizzate in edilizia e in impiantistica hanno un campo di misurazione della temperatura compreso tra -10 °K e 100 °K circa, che corrisponde all'intervallo di radiazione infrarossa con lunghezza d'onda compresa tra 0,75  $\mu\text{m}$  e 13  $\mu\text{m}$ , quindi con circa un ordine di grandezza più lungo della luce visibile.

È importante comprendere che le ter-

mocamere non vedono la temperatura, ma rilevano la radiazione infrarossa che, oltre che emessa, può anche essere riflessa.

È di immediata evidenza il limite della termografia, dato dal fatto che la riflessione può causare una notevole discordanza tra risultato di lettura del termogramma e la reale temperatura.

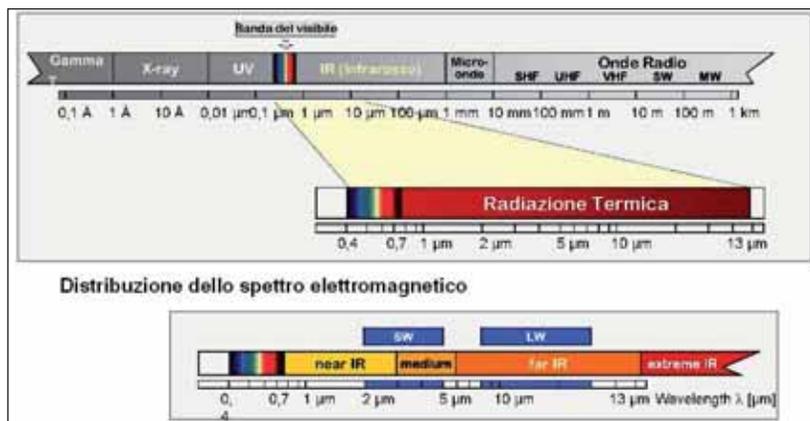
Se la riflessione è elevata, come per la maggioranza dei materiali metallici, essendo basso-emissivi e/o lucidi, per eseguire rilievi termografici attendibili è necessario che siano trattati con ossidazione o con vernice opaca.

In ogni caso, i valori tradotti nel termogramma hanno errori fino a circa il 2%, problema che globalmente si compensa col vantaggio dato dalla possibilità di effettuare rilievi a distanza ed in modo non invasivo su campi di escursione termici rilevanti anche a bassi valori. Si ricorda, infatti, che anche un cubetto di ghiaccio emette una certa quantità di energia radiante che può essere misurata dalla termocamera, trovandosi ad una temperatura ben al di sopra dello zero assoluto.

Questo aspetto porta ad intuire che l'utilizzo termografico è praticamente possibile in una vastità notevole di settori, vale a dire in tutti quelli ove vi siano fenomeni termici correlati ad eventi da indagare.

La tecnica termografica, sebbene con origini più antiche, fu usata inizialmente in ambito militare come strumento di spionaggio durante la "guerra fredda" nel 1950.

Nel 1957, un medico, il dott. Lawson, scoprì che i suoi malati di cancro avevano la temperatura della pelle più alta al di sopra dell'area interessata dalla ma-





lattia. Fu il primo uso della termografia a scopo diagnostico in campo oncologico. Sempre nella medicina, dal 1970 la termografia è stata usata per altri scopi diagnostici, per individuare le sorgenti di infiammazioni dei nervi, le infezioni superficiali, i problemi circolatori.

Poi la tecnica termografica fu utilizzata in campo aeronautico per la scoperta dei probabili punti di rottura negli aeroplani. A partire dal 1990 la termografia fu impiegata in campo edilizio per ispezioni diagnostiche nelle costruzioni.

Quando poi si è compreso che con la termografia è possibile eseguire controlli non distruttivi e non intrusivi per visualizzare valori assoluti e variazioni di temperatura di oggetti, indipendentemente dalla loro illuminazione nel campo del visibile, in tutto il mondo i campi di utilizzo sono stati estesi negli ambiti più svariati.

Esulando da quelli più specialistici, quali aeronautica, industria navale, ricerca scientifica, medicina, ecc., dove comunque l'impiego è davvero molto ampio, i settori e gli ambiti di utilizzo più frequenti sono qui indicati.

### Edilizia

- Diagnosi delle irregolarità termiche nei pannelli prefabbricati e sulle altre pareti.
- Localizzazione di armature di ferro nel cemento armato.
- Ricerca di difetti di isolamento termico dei tetti.
- Rilevazione delle perdite di calore attraverso i muri.
- Individuazione di ponti termici.
- Controllo dei distacchi di intonaco o di altri rivestimenti dalle pareti esterne.
- Individuazione dell'umidità da condensazione nei muri esterni.
- Ricerca di infiltrazioni di acqua nelle strutture verticali ed orizzontali.
- Ricerca di infiltrazioni di acqua provenienti dai tetti e dai sistemi di raccolta delle acque meteoriche.
- Individuazione dell'umidità di risalita nelle strutture verticali.
- Individuazione di tamponamenti non visibili eseguiti nel passato sulle pareti.
- Ricerca dei cavedi nascosti.
- Individuazione dei passaggi non visibili di condutture.
- Analisi delle sigillature tecniche.

- Rivelazioni dell'attacco biologico alle strutture in legno.

### Termoidraulica

- Valutazione del comfort termico nelle perimetrazioni dei vani degli edifici.
- Ricerca delle perdite di calore attraverso condotti (ventilazione, camini, ecc.).
- Ricerca di rotture di impianti di riscaldamento o di distribuzione idrica.
- Ricerca di rotture di condotte idriche all'aperto.
- Controllo funzionale degli scambiatori di calore.
- Analisi della distribuzione termica degli impianti a pannelli radianti ed individuazione di eventuali perdite o occlusioni.
- Controllo delle perdite sul mantello nei generatori termici.
- Controllo delle coibentazioni nelle tubazioni.
- Verifica della diffusione dell'aria climatizzata dalle bocchette di espulsione.
- Controllo delle canne fumarie.
- Analisi funzionale dell'isolamento termico dei generatori di calore.

### Meccanica

- Manutenzione predittiva meccanica per verifica di organi in movimento (pompe, ventilatori, altre trasmissioni con attriti).

### Elettrotecnica

- Manutenzione predittiva agli impianti elettrici (cavi, quadri elettrici, componenti, ecc.).

### Elettronica

- Individuazione di surriscaldamenti localizzati in elettronica e di avarie.

### Industria

- Controllo della temperatura dei componenti negli impianti oleodinamici (olio, pompa, motore, valvole, accumulatori, filtri, ecc.).
- Misura del livello di fluidi all'interno di grandi serbatoi non totalmente coibentati.
- Controllo delle coibentazioni e dei rivestimenti refrattari nei forni.
- Controllo delle coibentazioni nelle pareti di frigoriferi.

### Protezione civile

- Individuazione di focolai di incendio per anticipare le azioni di spegnimento.
- Individuazione di persone in acqua, grotte e ed altri luoghi al buio.
- Individuazione di persone e veicoli caldi attraverso la nebbia.
- Sorveglianza di ambienti e rilevazione di intrusione di persone ed animali al buio.

Se l'elencazione sopra descritta, che tra l'altro non è esaustiva, può suscitare un grande entusiasmo tra gli operatori, è però opportuno far presente che la termocamera deve trovarsi in "mani" competenti perché, non potendo leggere a distanza le temperature dei corpi, ma solo le radiazioni infrarosse percepite, c'è sempre il rischio di interpretare come delle emissioni le riflessioni da metalli, o anche da minerali o legno lucidati.

In fase di post-elaborazione computerizzata dei termogrammi deve poi esserci la competenza sulla tecnologia esaminata, al fine individuare al meglio le problematiche su cui è effettuata la diagnosi.



Diagnosi termica di cabine contenenti apparecchiature informatiche