

Arch. Saverio Bevilacqua

“L’ANALISI TERMOGRAFICA PER LA DIAGNOSI N.D. DEGLI EDIFICI”

L’idea di fornire un contributo seppur minimo ma concreto per la formazione professionale nell’ambito dell’edilizia sostenibile e del controllo delle performances degli edifici è ritenuta indispensabile oltre che vincente, l’idea della formazione in tema di DIAGNOSTICA APPLICATA.

L’obiettivo dell’intervento sul tema dell’analisi termografica IR per la diagnosi degli edifici, con particolare riferimento agli aspetti della performance energetica, si propone di sensibilizzare l’utenza che l’impiego della *tecnica termografica* può contribuire in modo diretto alla conoscenza del patrimonio edilizio nei suoi aspetti storici, tecnologici e costruttivi. L’informazione di base, sui concetti generali, sulle applicazioni, sull’uso ma anche sui limiti di tale tecnica può garantire un approccio più consapevole da parte dei professionisti del settore che intendono avvalersene offrendo loro la possibilità di riflettere sulle potenzialità della tecnica soprattutto se applicata per l’analisi energetica degli edifici.

Le applicazioni della Termografia in ambito civile risalgono alla fine degli anni Settanta subendo un’alternanza evolutiva con applicazioni improprie e limiti d’impiego.

In virtù di questa alternanza, per onestà professionale è bene precisare che la tecnica Termografica seppur rivalutata e prevalente tra le tecniche N.D. può presentare dei limiti: talvolta non è applicabile per la scarsa probabilità di successo nei risultati.

La Termografia IR non è una “scienza esatta”; le risposte che si possono ottenere derivano da deduzioni effettuate sulla base di confronti tra dati termici per cui, la corretta programmazione e applicazione, le conoscenze e l’esperienza teorico-pratica del Tecnico Termografo diventano determinanti per il buon esito di ogni indagine.

È doveroso precisare che l’ispezione termografica non può essere condotta in qualsiasi momento della giornata o dell’anno, in qualunque contesto e per qualsiasi obiettivo. Infatti, essa va mirata in relazione all’oggetto d’indagine e del preciso obiettivo che si intende perseguire.

Ogni indagine presuppone un **protocollo d’indagine** che deve essere plasmato e redatto per ogni specifico contesto ed ogni singolo caso.

Particolarmente determinante è la metodologia e la procedura d’indagine.

È importante che per una corretta ispezione termografica siano soddisfatte determinate caratteristiche ambientali (con il controllo delle variabili come la temperatura, l’umidità relativa, la velocità del vento, il soleggiamento, ecc.), rispetto alle quali la tecnica è fortemente sensibile, per non vanificare il risultato della stessa.

Il presupposto fondamentale è che esista un adeguato flusso termico tra le superfici di analisi e l’ambiente in cui si effettuano le riprese; ovvero che esista un gradiente termico (prodotto naturalmente o artificialmente) sufficiente a determinare un segnale termico percepibile dallo strumento che si utilizza.

In quest’ottica le capacità del Tecnico Termografo (che opera secondo la Norma UNI EN ISO 9712) diventano garantiste e decisive nell’ottenimento di un risultato che abbia elevati margini di attendibilità visto che, dipendono essenzialmente dalla interpretazione attenta e competente che, spesso richiede ulteriori analisi o verifiche.

Anche nell'ambito specifico della diagnosi energetica degli edifici, l'analisi termografica (se condotta in modo appropriato e corretto) può offrire ottimi risultati sia per la conoscenza dei "difetti" costruttivi dell'edificio, nell'individuazione delle dispersioni e dei ponti termici (fornendo un quadro sistematico e generale in tempi rapidi) e sia, nella progettazione e la verifica degli interventi, contribuendo in tal senso a migliorare notevolmente l'efficienza energetica.

La localizzazione complessiva ed estesa delle perdite energetiche spesso è complessa e difficile, e, quanto mai impossibile da rilevare con la semplice osservazione visiva.

Ottime potenzialità d'indagine si possono ottenere abbinando la tecnica termografica alla termoflussometria ed endoscopia, ossia l'indagine qualitativa e quantitativa di tipo estesa con rilievi puntuali. In tal modo sarà possibile ottimizzare la precisione non solo dei punti di sondaggio ma anche, i risultati del rilievo e la definizione stessa delle soluzioni progettuali.

Come già citato in precedenza, l'indagine estesa ed immediata, consente di calibrare o indirizzare nel miglior modo ulteriori analisi puntuali, anche se sovente può ritenersi sufficiente per definire concretamente il quadro generale di uno stato di fatto con i suoi "difetti nascosti" l'omogeneità o la disomogeneità termica individuando preventivamente zone energeticamente critiche.

Grazie anche alla rapida evoluzione tecnologica di questi strumenti d'indagine, oggi è possibile monitorare cambiamenti termici indotti da fattori di diversa natura (chimica, fisica, biologica), studiare l'evoluzione di determinati fenomeni e prevedere eventi.

Il rilievo dello stato termico di un oggetto, di una struttura, di un elemento o di una superficie più o meno estesa, consente attraverso l'analisi dei gradienti di temperatura di valutare con sufficiente approssimazione il suo stato fisico e di conservazione.

Grazie a queste peculiarità, la termografia IR oggi si colloca a pieno titolo nell'applicazione in svariati settori; basta applicarla correttamente.

Nello specifico, considerato che, circa il 50% del consumo energetico degli edifici è dovuto alle dispersioni termiche, si può comprendere come l'analisi termografica estesa possa rappresentare una vera occasione e un utile strumento che potrà contribuire a migliorare il confort ambientale, l'efficienza energetica, la riduzione dei costi, dell'energia e dell'impatto ambientale. Per tali ragioni potrà rappresentare anche un ottimo supporto per la **certificazione e la classificazione energetica degli edifici**.

Nella speranza di illuminare (nei limiti) il pensiero di potenziali utenti e di riuscire nell'obiettivo prefissato; precisati gli aspetti e gli elementi significativi caratterizzanti, si propone come di seguito una sintesi dei concetti, principi e definizioni che descrivono ed evidenziano i presupposti fondamentali per il buon uso della tecnica termografica nell'ambito civile.

LA DIAGNOSTICA

La diagnostica può essere definita come uno STUDIO PRELIMINARE D' INDAGINI CONOSCITIVE finalizzate ad approfondire la conoscenza e ottenere informazioni e dati sullo stato di conservazione di un oggetto, sulle patologie di degrado, sugli elementi che lo costituiscono e lo caratterizzano.

LA DIAGNOSTICA

NON DISTRUTTIVA

DISTRUTTIVA

Le INDAGINI DIAGNOSTICHE si possono eseguire:

a) IN SITO

b) IN LABORATORIO

INDAGINI QUALITATIVE

- - Indagine visiva
- - Indagine storica
- - Quadro fessurativo
- - Mappatura umidità
- - Mappatura dispersioni termiche
- - Mappatura del degrado

PRELIEVO

Analisi chimiche

Prove fisiche

Prove meccaniche

INDAGINI QUANTITATIVE

- - Rilievo geotermico
- - Monitoraggio
- - Misura dello sforzo locale
- - Misura dell'umidità
- - Misure delle dispersioni termiche

I risultati potranno confluire nei: PARAMETRI DI CALCOLO

Questo tipo di indagini possono fornire:

DATI QUALITATIVI E QUANTITATIVI

LA DIAGNOSI DISTRUTTIVA

È un sistema di indagine eseguita con una o più metodologie combinate predisposte per analizzare un manufatto (impianto, edificio, cc.), **compromettendo, alterando o distruggendo** lo stato originale (struttura, finitura, componente) in forma parziale più o meno invasiva.

LA DIAGNOSI NON DISTRUTTIVA (N.D.)

È un sistema di indagine eseguita con una o più metodologie combinate predisposte per analizzare un manufatto (impianto, edificio, ecc.), **senza compromettere, alterare o distruggere** lo stato originale (struttura, finitura, componenti).

Caratteristiche delle Diagnosi N.D.

NON INVASIVITA'

- È la caratteristica principale di queste metodologie di analisi perché non danneggiano o distruggono neanche minimamente l'oggetto indagato

RAPIDITA'

- Forniscono risultati qualitativi, quantitativi e comparativi in tempi rapidi o immediati

VERSATILITA'

- Si applicano direttamente in sito con la raccolta dati e immagini

Sono MIRATE

- Consentono di ridurre globalmente il numero totale delle prove distruttive quando sono necessarie per approfondire l'analisi

RIDUZIONE DEI COSTI

- Consentono di ridurre i costi per ulteriori indagini o per numerose indagini

LE PRINCIPALI TECNICHE NON DISTRUTTIVE SONO:

- ! La Termografia
- ! L'Endoscopia e la Videoispezione
- ! La Termoflussimetria
- ! Le prove soniche
- ! La Pacometria (o Magnetometria)
- ! Il Georadar
- ! Le prove Soniche e Ultrasoniche
- ! La Sclerometria

CHE COS'E' UNA RADIAZIONE INFRAROSSA?

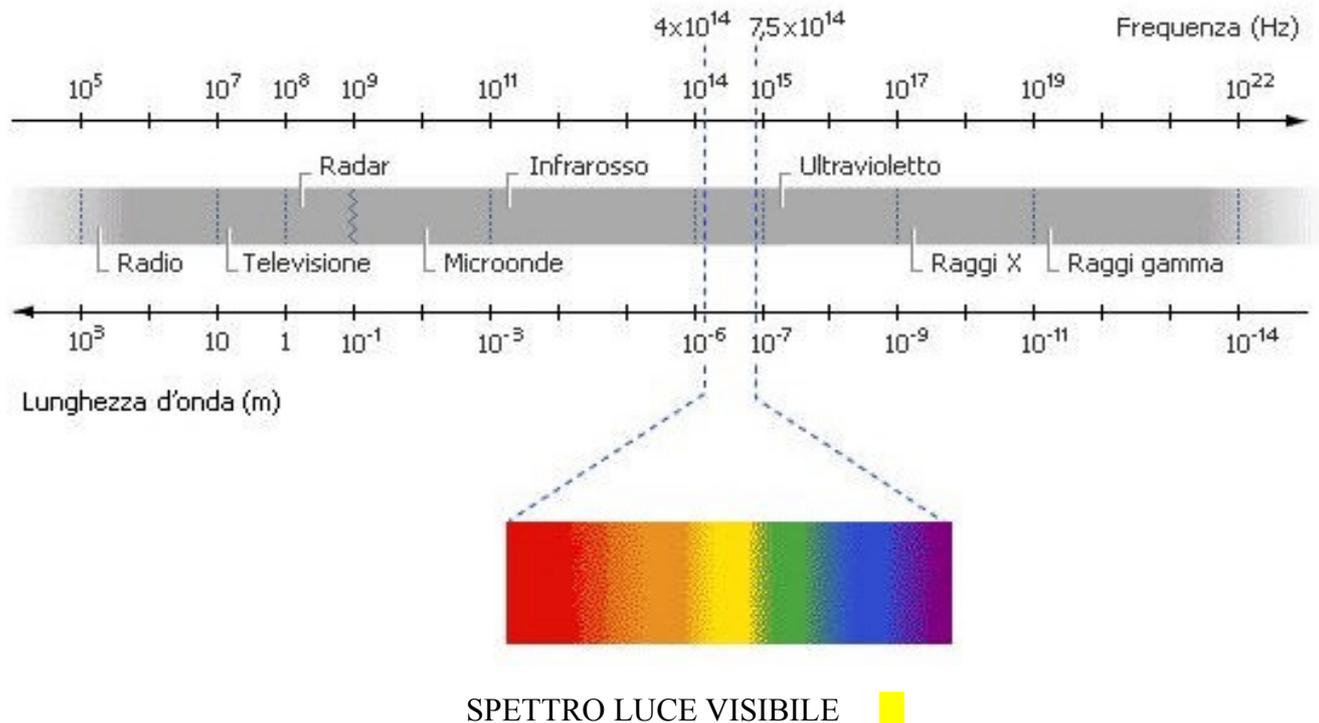
La radiazione infrarossa (IR) è una radiazione elettromagnetica invisibile all'occhio umano con lunghezza d'onda maggiore della luce visibile e minore delle microonde.

La lunghezza d'onda (λ) della radiazione infrarossa è compresa tra 700 nm e 1 mm.

LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO

È la rappresentazione dell'insieme delle radiazioni elettromagnetiche.

Esso è composto da una sequenza delle diverse tipologie di radiazioni elettromagnetiche classificate in bande spettrali che sono funzione della lunghezza d'onda (λ) e della frequenza (Hz)



La termografia si colloca nella banda spettrale dell'infrarosso che è compresa tra 0,75 e 100 micron

Si distingue in:

- Infrarosso vicino (0,75 – 3 micron)
- Infrarosso medio (3 – 6 micron)
- Infrarosso lontano (6 – 15 micron)
- Infrarosso estremo (15 – 100 micron)

COSA SONO “LUCE” E “CALORE”

La luce e il calore sono due forme di radiazioni elettromagnetiche, con differenti lunghezze d'onda e frequenza che seguono le medesime leggi dell'ottica.

È possibile valutare e calcolare la temperatura dei corpi misurando la radiazione infrarossa da essi emessa.

**La radiazione termica è emessa da tutti i corpi che hanno uno stato termico sopra lo zero assoluto
(- 273,16 °C = 0 °K)**

CHE COS'E' LA TERMOGRAFIA (IR)

*La Termografia I.R. è una tecnica diagnostica non distruttiva di rilevamento delle radiazioni termiche infrarosse emesse dai corpi attraverso l'utilizzo di uno strumento denominato: **TERMOCAMERA***

CHE COS'E' UNA TERMOCAMERA

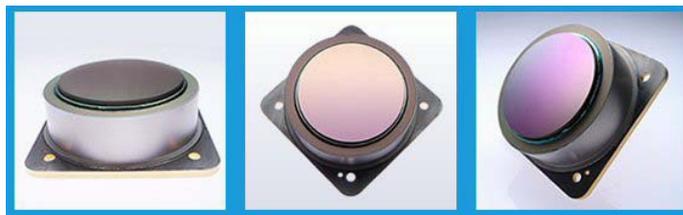
La Termocamera è un speciale dispositivo in grado di rilevare le radiazioni infrarosse emesse dai corpi e di trasformarle in immagini visibili bidimensionali a falsi colori

QUALI SONO LE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DI UNA TERMOCAMERA?

- Tipo di sensore
- Numero pixel del sensore
- Risoluzione termica
- Risoluzione spaziale o geometrica
- Frequenza immagine
- Immagine visibile
- Elementi ausiliari (illuminatori, laser, registrazione commenti vocali ecc.)

IL SENSORO MICROBOLOMETRICO NON RAFFREDDATO

Materiale costitutivo: VOx (Ossido di Vanadio); aSi (Silicio Amorfo)



Il sensore microbolometrico ha la funzione di trasformare in grandezza fisica misurabile l'energia infrarossa che arriva ad ogni singolo elemento di cui è costituito variando il valore della resistenza elettrica in funzione dell'energia IR. attraverso un circuito integrato a cui è collegato.

RILEVATORI E PIXEL

Nel mercato industriale esistono vari tipi di strumentazioni termografiche. Sono commercializzate termocamere con sensori aventi differenti caratteristiche e numero di pixel.

I sensori principalmente utilizzati in termografia sono:

160x120 pixel contengono la misura di 19.200 pixels di temp.

320x240 pixel contengono la misura di 76.800 pixels di temp.

640x480 pixel contengono la misura di 307.200 pixels di temp.

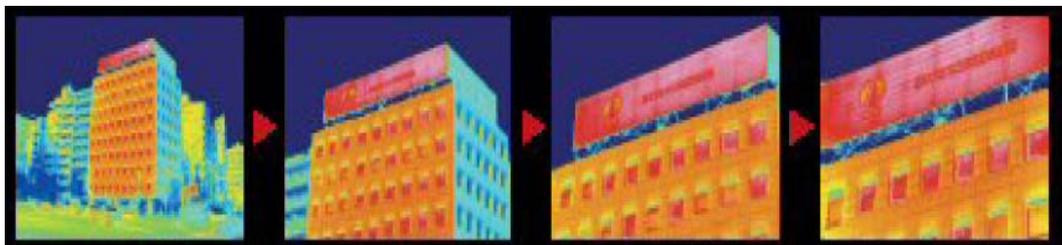
L'IMPORTANZA DEL SENSORE GEOMETRICO

DIMENSIONE DEL SENSORE (RISOLUZIONE GEOMETRICA)

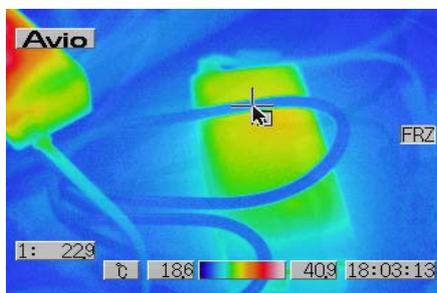
160 x 120 pixel

320 x 240 pixel

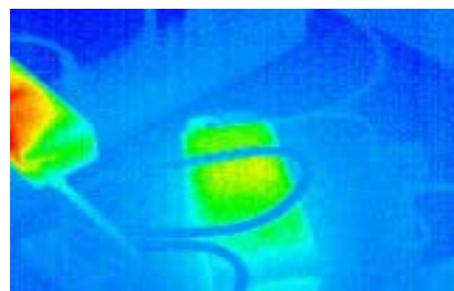
640 x 480 pixel



LA DIFFERENZA TRA I SENSORI



320 x 240 pixel

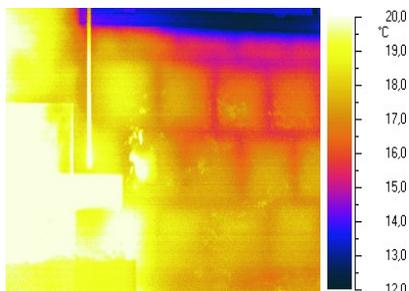


160 x 120 pixel

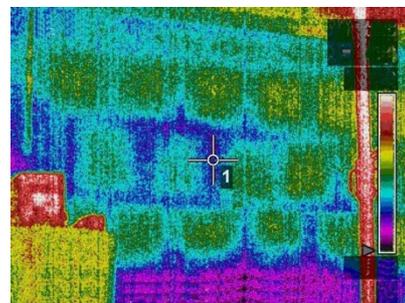
L'immagine radiometrica con i sensori professionali risulta essere di gran lunga più definita e permette misure su oggetti molto più piccoli.

LA RISOLUZIONE TERMICA

La risoluzione termica di un'immagine termografica indica il minimo ΔT misurabile dalla termocamera.



Risoluzione 0,05°C



Risoluzione 0,1°C

FREQUENZA IMMAGINE

Le termocamere con frequenza, sotto i 30 Hz, non sempre permettono di avere una ripresa con l'immagine ferma, se l'oggetto o la mano dell'operatore non è perfettamente ferma possono avere un effetto mosso.

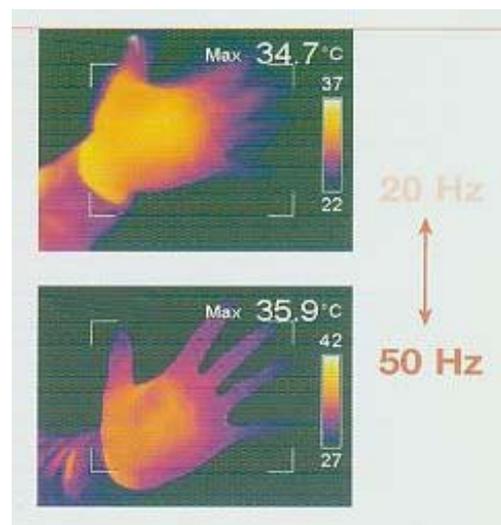
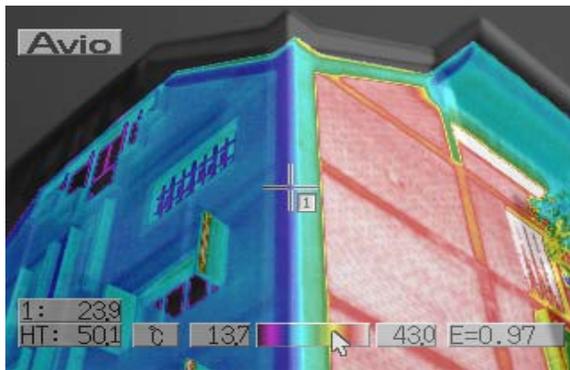


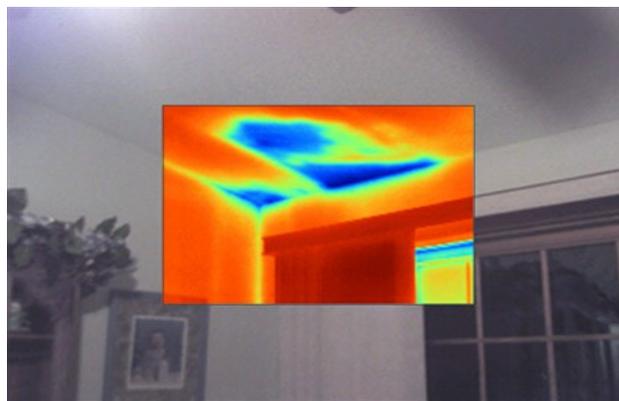
IMMAGINE IR / VISIBILE

La ripresa contemporanea dell'immagine infrarosso e visibile permette di avere un'interpretazione più facilitata nella fase interpretativa



FUSIONE IMMAGINE

Consente di unire e fondere le due immagini (IR e visibile insieme) in sovrapposizione.



Le immagini prodotte sono correlate alle radiazioni rilevate (intensità di radiazione) mediante la rappresentazione e la distribuzione delle temperature superficiali dell'oggetto osservato generando delle *mappe termiche*

CHE COSA RAPPRESENTANO LE MAPPE TERMICHE?

Le mappe termiche si generano per associazione di un “*falso colore*” ed una temperatura e rappresentano la distribuzione delle temperature in ogni punto della scena inquadrata o osservata.

I colori scuri rappresentano le temperature più basse (freddo) mentre i colori più chiari rappresentano le temperature più alte (caldo)

Attraverso il confronto della distribuzione dei falsi colori e quindi delle temperature superficiali dell'oggetto indagato si possono individuare le “*anomalie termiche*” che rappresentano dei difetti nascosti del materiale.

LA MAPPA DELLE TEMPERATURE SUPERFICIALI

Mappare le temperature di una superficie è molto utile per valutare lo stato di conservazione di un materiale; per valutare il funzionamento di un impianto; per individuare eventuali patologie di degrado.

QUANDO USARE LA TERMOGRAFIA I.R.

IN FASE DI PREVENTIVO

- per valutare i costi di un intervento

IN FASE PROGETTUALE PRELIMINARE ED ESECUTIVA

- per indirizzare e controllare le scelte progettuali

IN FASE DI COLLAUDO

- per controllare e verificare la corretta esecuzione

IN FASE DI GESTIONE

- per tarare gli impianti e verificarne l'efficienza

IN QUALI SETTORI È APPLICATA LA TERMOGRAFIA?

- MILITARE
- MEDICO VETERINARIO
- INDUSTRIALE
- CIVILE
 - Costruzioni edili
 - Architettura – Beni culturali ed artistici
- AMBIENTALE e TERRITORIALE
- MECCANICO ed ELETTRICO
 - settore ricerca e sviluppo
- AGRICOLO e AMBIENTALE

A CHE SCOPO VIENE APPLICATA PER LE DIAGNOSI NEL SETTORE EDILE?

- ! Per individuare la tessitura muraria
- ! Per individuare vuoti o cavità nascoste nella muratura

- ! Per individuare corpi metallici o legnosi nella muratura
- ! Per verificare il distacco degli intonaci e dei rivestimenti
- ! Per individuare i ponti termici e le dispersioni termiche degli edifici
- ! Per verificare l'umidità e le condense nelle murature
- ! Per individuare perdite o guasti negli impianti
- ! Per individuare infiltrazioni d'acqua nelle impermeabilizzazioni
- ! Per individuare dispersioni di fumi da canalizzazioni
- ! Per individuare gli impianti radianti a pavimento e soffitto
- ! Per individuare guasti negli impianti e quadri elettrici

QUALI VANTAGGI OFFRE LA TERMOGRAFIA?

- Per il carattere di bidimensionalità è possibile effettuare la misura di centinaia di punti di temperature di aree ed effettuare confronti
- Non invasività dell'indagine (non ha nessun contatto con il soggetto)
- Non necessita di ponteggi, opere ausiliarie o provvisorie
- Rapidità e flessibilità delle indagini con risultati immediati in tempo reale
- Nessuna interruzione delle attività svolte (dell'edificio, dell'impianto, ecc.)
- Limitare o evitare ulteriori indagini distruttive

QUALI SVANTAGGI HA LA TERMOGRAFIA?

- La mappatura delle temperature richiede molte attenzioni applicative e conoscenza teoriche per cui non sempre può risultare corretta ed ha margini d'incertezza nell'analisi quantitativa
- Difficoltà di sollecitare termicamente l'oggetto (muratura, edificio, impianto, ecc.)
- È influenzata dalle condizioni climatiche (umidità, vento, pioggia, nebbia, irraggiamento solare, ombre)
- È una indagine essenzialmente di tipo qualitativa e di minor precisione a livello quantitativo
- Non sempre è possibile ottenere il risultato atteso

L'INDAGINE PREDITTIVA

È un'indagine che consente (attraverso misure di analisi) di riconoscere con anticipo il degrado, i malfunzionamenti, i guasti e di programmare e pianificare adeguati interventi (si usa essenzialmente nei programmi di manutenzione industriale).

L'INDAGINE PREVENTIVA

È un modo di analisi programmata con cadenza temporale stabilita prioritariamente.

È una sorta di monitoraggio nel tempo per prevenire guasti e degrado.

LA TERMOGRAFIA ATTIVA

Si verifica quando viene fornita una sollecitazione termica (naturale o forzata)

In questa modalità viene rilevata l'energia emessa sia in fase di raffreddamento che in fase di riscaldamento

Obiettivi

- ! Per individuare strutture nascoste o vuoti
- ! Per individuare distacchi di intonaci e rivestimenti

LA TERMOGRAFIA PASSIVA

Si ha quando NON viene fornita nessuna sollecitazione termica.

In questa modalità viene rilevata l'energia termica emessa dai corpi alle normali e naturali condizioni di esercizio

Obiettivi

- ! Verifiche delle dispersioni e dei ponti termici
- ! Verifiche igrometriche
- ! Infiltrazioni
- ! Condense

Per questo tipo di indagine è importante tenere sotto controllo le condizioni ambientali

ANALISI QUALITATIVA

È un metodo di analisi degli schemi termici per rilevare l'esistenza e la posizione di eventuali anomalie riscontrate e consentire una prima valutazione.

Nella termografia qualitativa l'immagine viene utilizzata per valutare eventuali problemi rilevati con una prima analisi delle anomalie termiche.

ANALISI QUANTITATIVA

È un metodo di analisi che utilizza la misurazione della temperatura come criterio per determinare la gravità di un'anomalia e stabilire le priorità di intervento e /o di riparazione.

Nel caso dell'analisi quantitativa, quando viene riscontrata un'anomalia, è necessario stabilirne la gravità.

Generalmente sulla valutazione quantitativa si usano **criteri di classificazione** basati su **indici di attenzione** dove le differenze di temperatura (ΔT) rilevate per confronto tra un campione anomalo ed un altro di riferimento dà un indicazione della gravità.

CLASSE "A" Anomalia che richiede immediata attenzione (per elevati ΔT)

CLASSE "B" Anomalia che richiede attenzione appena possibile (per valori medi di ΔT)

CLASSE "C" Anomalia che richiede un monitoraggio e un check-up in tempo utile (per valori bassi di ΔT)

ANALISI TERMOGRAFICA

L'indagine termografica ha validità temporale cioè rappresenta lo stato dell'oggetto in funzione dell'obiettivo ricercato nel momento in cui è indagato.

Cenni sulle MODALITA' DI TRASFERIMENTO DEL CALORE

CONDUZIONE

CONVENZIONE

IRRAGGIAMENTO

In genere nella realtà le tre forme di trasferimento del calore sono contemporaneamente presenti ma in edilizia l'irraggiamento contribuisce per la maggior parte alla dispersione del calore (nelle normali condizioni ambientali)

TRASFERIMENTO DEL CALORE IN REGIME STAZIONARIO E TRANSITORIO

REGIME STAZIONARIO

Si verifica quando esiste una condizione stabile, senza cambiamenti di temperatura e con un costante flusso di calore

È una condizione in cui la potenza riscaldante è uguale a quella raffreddante (tutto ciò che viene immesso fuoriesce)

REGIME TRANSITORIO

Si verifica quando avviene un cambiamento di temperatura e del flusso di calore.

È una condizione in cui la potenza riscaldante è maggiore di quella raffreddante.

L'oggetto si riscalderà e provocherà un innalzamento della temperatura.

Se la potenza riscaldante cessa o scompare, allora l'oggetto inizierà a raffreddarsi fino a raggiungere la temperatura ambiente.

Le applicazioni termografiche in regime transitorio servono generalmente per la *ricerca di infiltrazioni di acqua nelle murature e condense superficiali; per determinare il livello dei liquidi nelle cisterne*

TERMOGRAFIA E TRASFERIMENTO DEL CALORE

Nell'indagine termografica è importante:

- ! Saper riconoscere le modalità di trasferimento del calore
- ! Individuare e comprendere la direzione del flusso di calore e le condizioni del massimo gradiente termico (*maggiore è il gradiente termico migliore è la qualità del segnale*)
- ! Valutare le condizioni al contorno
- ! Individuare le condizioni ideali per eseguire le indagini (fasce orarie ideali per eseguire l'indagine)

PER RILEVARE CORRETTAMENTE LA TEMPERATURA BISOGNA CONOSCERE I SEGUENTI PARAMETRI:

- EMISSIVITA'
- TEMPERATURA RIFLESSA
- TEMPERATURA AMBIENTE
- UMIDITA' RELATIVA
- VELOCITA' DELL'ARIA
- DISTANZA OGGETTO – TERMOCAMERA

FATTORI CHE INFLUENZANO IL TRASFERIMENTO DEL CALORE

Il trasferimento del calore è condizionato fondamentalmente da 3 fattori differenti:

1. La **Geometria** (dell'oggetto) o forma fisica (piatto, sferico, fori, incavi, angoli)
2. **Condizioni al contorno** (Temperatura, Umidità Relativa, Vento)
3. Dalle **proprietà termofisiche dei materiali** (struttura e finitura superficiale, conducibilità, emissività, riflessività, capacità termica, temperatura ecc.)

CONDUCIBILITA'

Capacità dei materiali a condurre il calore

Quanto più è alta la conducibilità tanto maggiore è la possibilità di condurre energia

TABELLA CONDUCIBILITA'

Sostanza a 25°C	k [W/m°C]	k [kcal/hm°C]
Acciaio Cr 20%	22	19
Bronzo Cu 75%, Sn 25%	26	22
Piombo	35	30
Acciaio C 1,5%	36	31
Acciaio C 0,5%	54	46
Acciaio Cr 1%	61	52
Stagno	64	55
Platino	70	60
Ferro	73	63
Ottone Cu 70%, Zn 30%	111	95
Zinco	112	96
Alluminio	204	175
Rame	386	332
Argento	407	350

CAPACITA' TERMICA O INERZIA TERMICA

(k J) / Kg. °K

Capacità di un materiale di accumulare e trattenere l'energia termica, che successivamente verrà ceduta all'ambiente ovvero la capacità con cui il materiale reagisce alle variazioni di temperatura.

Come grandezza fisica essa è rappresentata dal *calore specifico*

TABELLA CAPACITA' TERMICA

MATERIALE	CAPACITA' TERMICA
Rame	0,39
Acciaio inox	0,46
Mattone	0,75
Legno	1,7 - 2,8
Acqua	4,19
Alluminio	0,90
Plastica	0,24
Gesso	1,09
Vetro	0,84

TRASMISSIVITA'

$$\frac{E_t}{E}$$

$$E_t = \text{Energia trasmessa} \quad E = \text{Energia totale}$$

Capacità di un materiale a trasmettere l'energia termica, ovvero la capacità di un materiale di essere attraversato dalla radiazione termica.

RIFLESSIVITA'

$$\frac{E_r}{E}$$

$$E_r = \text{Energia riflessa} \quad E = \text{Energia totale}$$

Capacità dei materiali a riflettere le radiazioni termiche

LA TEMPERATURA RIFLESSA APPARENTE

S'intende la temperatura apparente degli oggetti che vengono riflessi nella termocamera dall'oggetto analizzato.

La Temperatura riflessa (T Rif.)

è una radiazione termica che generalmente proviene dagli oggetti posti di fronte a quello indagato e si aggiunge a quella emessa dall'oggetto stesso.

La Temperatura riflessa deve essere compensata ed eliminata dal computo finale per non incorrere in gravi errori nel calcolo delle Temperature.

Per gli **oggetti opachi** (non trasparenti) la somma delle emissività e riflessività è pari a 1 *(per superfici reali l'emissività ed il coefficiente di assorbimento Coincidono)*

$$\varepsilon + \rho = 1$$

PERTANTO,

$$\rho = 1 - \varepsilon$$

EMISSIVITA'

È la capacità dei materiali ad emettere radiazioni.

Essa è definita come il *rapporto fra la radiazione emessa da un corpo reale e la radiazione prodotta da un corpo nero*, posto alla stessa temperatura e osservato nello stesso intervallo di lunghezza d'onda. L'emissività è perciò un rapporto

$$\frac{W_r}{W_n}$$

IL PARAMETRO EMISSIVITA'

ε dipende dal materiale di cui è composto l'oggetto (per alcuni valori vedasi tabelle)

Per i corpi non trasparenti (ossia opachi) $\tau = 0$, ne segue che $\varepsilon + \rho = 1$, quindi più il valore di ε è basso più la misura è influenzata dall'ambiente che circonda l'oggetto.

Utilizzando un oggetto specchio ($\varepsilon = 0$) si può misurare la componente dovuta all'ambiente (e quindi ρ).

Una volta impostati questi valori, la termocamera è in grado di effettuare una misura sufficientemente precisa della temperatura dell'oggetto.

TABELLA EMISSIVITA'

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
Acciaio inossidabile (tipo 18/8)	Foglio molto arrugginito	20	0,69 - 0,96
	Lucidato	20	0,16
Ferro	Ossidato		0,5 - 0,9

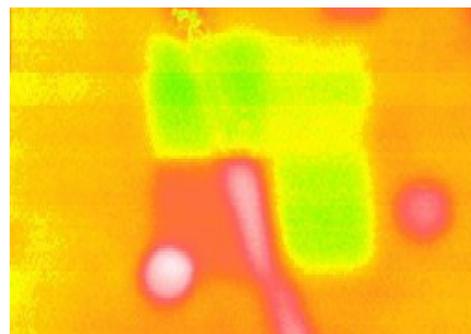
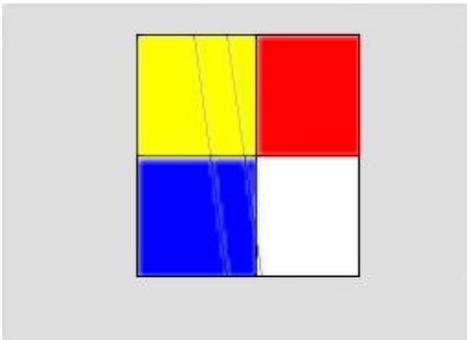
	Arrugginito		0,5 – 0,7
Ghisa	Ossidata		0,6 – 0,95
	Non ossidata		0,2
Ottone	Brunito		0,3
	Ossidato		0,5
Piombo	Ruvido		0,4

NON - METALLI		Temp °C	Emissività
Acqua	Distillata	20	0,96
	Cristalli di ghiaccio	- 10	0,98
	Neve	- 10	0,85
Argilla			0,95
Asfalto			0,95
Calcere			0,98
Calcestruzzo	Asciutto	35	0,95
Carta	Bianca	20	0,07 – 0,90
	Qualsiasi colore		0,95
Cemento			0,95
Gesso			0,8 – 0,95
Intonaco		20	0,86 – 0,90
Ghiaia			0,95
Legno	Naturale		0,9 – 0,95
Sabbia			0,90
Suolo	Asciutto	20	0,92
	Saturo d'acqua	20	0,95
Pelle umana			0,98

Differenza di emissività di intonaci di colore diverso colori diversi hanno coefficienti di assorbimento diversi

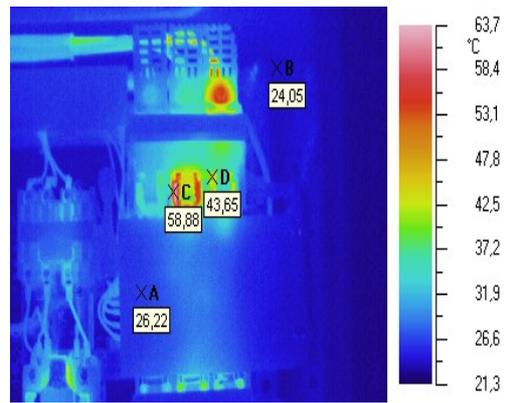
Il blu e il nero assorbe molto e riscalda strato lo strato sottostante

Il giallo assorbe meno e riscalda poco lo strato sottostante



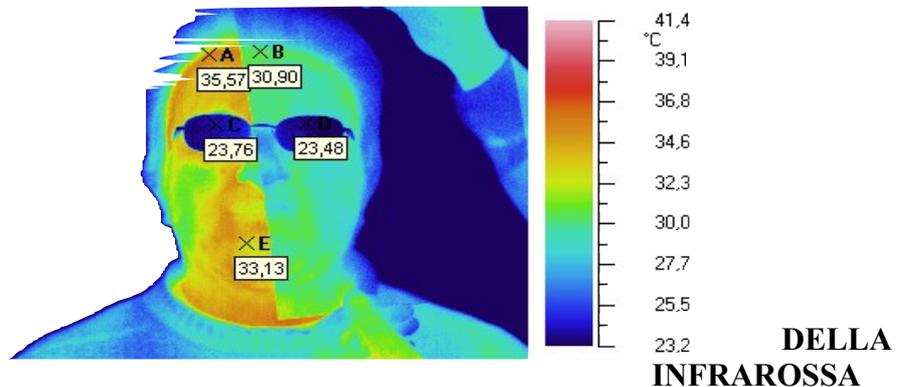
Plexiglas (non trasparente al IR)

Il plexiglas non è trasparente alle onde elettromagnetiche dell'infrarosso, in questa immagine termica di un cabinet è evidente che sul plexiglas si misura 26,22°C che è una temperatura molto vicina all'ambiente 24,05°C, mentre il componente è a circa 58°C



Foglio di polietilene semitrasparente

Ponendo un foglio di polietilene davanti al volto si nota che si mantiene la visualizzazione dei contorni ma si ha una attenuazione della misura di temperatura che può essere superiore al 10% come valore assoluto.



PROPRIETA' RADIAZIONE

DELLA INFRAROSSA

- ! È emessa da tutti i corpi sopra lo zero assoluto di temperatura (- 273,16 °C = 0 °K)
- ! È generata da una accelerazione delle particelle che compongono la materia (atomi e molecole)
- ! Con l'aumento dell'attività molecolare aumenta l'energia irradiata

LEGGE DI STEPHAN-BOLTZMAN

Ogni corpo alla temperatura (T) emette una quantità di energia (Q) proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta del corpo stesso.

$$E = \epsilon s T^4$$

E = energia emessa

ϵ = emissività dell'oggetto

s = costante di Stephan – Boltzman = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mq K}^4$

T = temperatura oggetto

IL CORPO NERO

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 1 \\ t &= 0 \\ \rho &= 0\end{aligned}$$

È considerato un corpo ideale, in grado di assorbire ed emettere il 100% dell'energia radiante senza né riflettere e né trasmettere. La radiazione emessa dipende dalle temperature.

IL CORPO GRIGIO

$$0 < \varepsilon < 1$$

È un corpo in grado di emettere, riflettere e trasmettere la radiazione incidente in modo costante rispetto alla lunghezza d'onda e l'emissività rimane costante su tutta la gamma spettrale.

CORPO REALE

$$0 < \varepsilon < 1$$

È un corpo in grado di emettere, riflettere e trasmettere la radiazione incidente in modo costante rispetto alla lunghezza d'onda e l'emissività rimane costante su tutta la gamma spettrale.

Nella realtà la maggior parte dei corpi sono opachi cioè non sono trasmissivi alla radiazione infrarossa ovvero

$$t = 0$$

Per questi corpi la relazione diventa

$$\varepsilon + \rho = 1$$

LA PROGETTAZIONE DELLE RIPRESE TERMOGRAFICHE

Prima di eseguire un'indagine termografica è indispensabile raccogliere e analizzare una serie di dati e informazioni utili per valutare la fattibilità, le condizioni critiche e le modalità dell'esecuzione.

È indispensabile conoscere le condizioni al contorno e tutti i parametri fondamentali che possono influenzare la prova; i dati significativi e caratteristici dell'oggetto da indagare; le condizioni operative ambientali e climatiche, le caratteristiche geometriche e dei materiali componenti; informazioni storiche ed evolutive del manufatto e, quant'altro sia utile al fine di ottimizzare la procedura d'indagine.

IL PROTOCOLLO DI PROVA

una corretta procedura prevede una:

- ! **Fase preliminare di sopralluogo** (è una fase ricognitiva e di raccolta di informazioni e dati utili, e, di verifica delle condizioni al contorno)
- ! **Fase di pre-indagine** (è una fase di programmazione dell'indagine e delle sue modalità)
- ! **Fase d'indagine** (è la fase esecutiva vera e propria con la registrazione di dati e immagini)
- ! **Fase interpretativa** (è la fase di analisi ed elaborazione di dati ed immagini con relativa interpretazione dei risultati dell'indagine e la stesura finale della relazione tecnica – Report)

L'indagine termografica si conclude con l'archiviazione dei risultati e della documentazione; la consegna al Committente del Report Termografico.

È previdente far notare che la termografia normalmente consente di identificare le anomalie per confronto delle temperature o distribuzioni termiche non regolari (o senza alcuna ragione d'essere) rispetto a quelle ritenute regolari.

LA TERMOGRAFIA PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA

IL RUOLO DELLA TECNICA

- ! Conoscere lo stato termico di un manufatto

- ! Individuare e localizzare problematiche riferite (nel caso specifico) alle dispersioni e ponti termici
- ! Supportare la progettazione degli interventi da realizzare
- ! Verificare e controllare gli interventi eseguiti
- ! Monitorare a breve e/o lungo periodo le variazioni termiche (degrado e durabilità degli interventi)
- ! Documentare l'efficienza energetica degli edifici (allegato alla dichiarazione di classificazione energetica)
- ! Documentare la classificazione energetica degli edifici

I PONTI TERMICI

Sono elementi strutturali che per loro collocazione e morfologia causano un flusso termico (calore) disperdente verso l'esterno per la mancanza di coibentazione generando il rischio di formazione di condensa sulle superfici interne.

DOVE SI VERIFICANO I PONTI TERMICI

- In corrispondenza di travi e pilastri
- Solette balconi e sporgenze
- Pensiline, scale sporgenti e cornicioni
- Logge aperte
- Cassonetti per avvolgibili
- Nicchie per radiatori
- Connessioni tra telai – falsi telai di aperture

- A titolo esemplificativo si riporta come di seguito un esempio di modello di Report

