



associazione di  
professionisti tecnici  
carate brianza



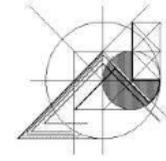
ASSOCIAZIONE PROFESSIONISTI GIUSSANO  
**CIVITAS.PRO**  
ambiente & territorio



ASSOCIAZIONE  
PROFESSIONISTI  
EDILIZIA E TERRITORIO  
SEREGNO



circolo interprofessionale  
architetti geometri ingegneri  
periti alta brianza



circolo interprofessionale  
Architetti geometri ingegneri  
dell'alto milanese



**QUADRIFOGLIO50**  
ARCHITETTI PER MONZA E BRIANZA

## **P.N.D. - Prove Non Distruttive in edilizia**

# **Termografia, sensori e strumenti di indagine in edilizia per la diagnosi, la certificazione e la progettazione degli interventi**

Giussano 11-2-2011

Con il patrocinio



**Città di Giussano**

Piazzale Aldo Moro, 1 - P.IVA 00703060962

# Le P.N.D. prove non distruttive in edilizia

---

- ▷ **Le Prove non Distruttive, sono quelle prove e rilievi, condotti impiegando metodi che non alterino il materiale da esaminare in quanto non richiedono l'asportazione di campioni di prova dalla struttura in esame.**
- ▷ **Tali prove sono finalizzate a valutare l'integrità dei componenti, di impianti nonché verificare le condizioni delle strutture edili. Sono considerate non distruttive anche quelle prove mini invasive che necessitano di piccoli prelievi o piccoli interventi invasivi.**

# Le PND prove non distruttive in edilizia

## ▷ Le Prove per la caratterizzazione termica

Indagini stratigrafiche, Indagini endoscopiche, termografia, termoflussimetria

## ▷ Le Prove per la caratterizzazione della tenuta all'aria e microclima

Blower door, rilievo velocità dell'aria, rilievo parametri microclimatici temperatura dell'aria, temperatura superficiale, umidità relativa, calcolo parametri del confort PMV

## ▷ Le Prove per la determinazione dell'umidità nelle murature

Prove termografiche, determinazione umidità attraverso la misura della resistenza elettrica, con sensori dielettrici, a microonde, con metodo gravimetrico, o con carburo di calcio.

# Il seminario tratta:

---

## ▷ **Concetti e nozioni base sulla termografia**

- Teoria dell' infrarosso, Cenni teorici sul calore e trasmissione del calore
- Esempi con immagini relative a:
  - Valutazione della coibentazione dell' involucro degli edifici
  - Individuazione delle strutture e delle tessiture murarie
  - Esempio di utilizzo della termografia in ambito restauro
  - Applicazioni di termografia per la diagnostica degli impianti

## ▷ **Catatterizzazione delle Strutture opache:**

- Concetti base relativi alla misurazione della trasmissione del calore nelle murature: datalogger, termo flussimetro e sfasamento termico, misurazione delle infiltrazioni di aria con termografia e blower door .
- Concetti base relativi all' umidità ambientale e nelle murature, data logger, sensori e termoflussimetro.
- Esempio termografia per identificazione umidità nelle murature

## ▷ **Esercitazione pratica con termocamera, blower door, sensori di umidità**

# Definizione di Termografia

---

**Con il termine termografia si intende l'uso di termocamere sensibili all'infrarosso per misurare e visualizzare l'energia termica emessa da un oggetto.**

**Ogni oggetto emette calore; più è alta la temperatura dell'oggetto, maggiore è la radiazione infrarossa emessa.**

**Le termocamere visualizzano quello che l'occhio umano non può vedere e permette di convertire l'immagine infrarossa in immagine visibile, oltre a permettere precise misure senza contatto della temperatura superficiale dei corpi.**

# **La termocamera ci permette di:**

---

- **Eseguire indagini non distruttive sull'edificio**
- **Visualizzare in tempo reale la mappa del calore.**
- **Misurare la temperatura di un edificio senza contatto**
- **Produrre un'immagine con migliaia di punti di temperatura nota**
- **Identificare e localizzare i discontinuità di isolamento.**
- **Identificare e localizzare impianti e guasti**
- **Identificare e localizzare la presenza di umidità**
- **Identificare e localizzare distacchi negli intonaci e rivestimenti**
- **Individuare i problemi prima che si verifichino i guasti**
- **Consentono un una migliore conoscenza del manufatto**

# Concetti teorici di base

## ► Calore

Nei solidi il calore è una misura dell'ampiezza di oscillazione degli atomi , mentre la temperatura è la frequenza di oscillazione degli atomi stessi. Il calore dipende dalla quantità e dalla qualità della massa. Ad esempio posso avere piccole masse ad elevata temperatura (filamento lampadina con piccole quantità di calore) o grandi masse a basse temperatura (esempio l'oceano che contengono enormi quantità di calore) ; si misura in Joule.

## ► Calore specifico

E' la quantità di calore necessaria per portare un corpo da una temperatura  $T_1$  ad una  $T_2$

### Tabella Sostanze cal. / g

Acqua	1	Olio	0,443
Alluminio	0,2141	Ferro	0,115
Rame	0,095		

# Concetti teorici di base

---

## Capacità termica

E' la quantità di energia ( calore espresso in n° di calorie) necessarie ad un corpo per innalzare la temperatura di un grado Kelvin

## Unità di Misura

La caloria è l'unità di misura della quantità di calore necessaria per riscaldare da 14,5° a 15,5° un grammo di acqua distillata. Dato che è piccola si usa comunemente la Kcal che è quantità di calore necessaria per riscaldare da 14,5° a 15,5° un chilogrammo di acqua distillata.

## Temperatura

rappresenta il livello di energia termica posseduto da un corpo. Viene determinata dalla velocità media delle molecole che lo compongono.

## Misura della temperatura

La misura della temperatura può essere fatta con diverse tecniche

**Termometri a liquido** (espandendosi sale per capillarità in funzione della temperatura, o termocoppie

# Strumenti di misura della temperatura

## Termometri a resistenza.

Si basa sul principio della variazione della resistenza elettrica al variare della temperatura, Sono le più precise, comunemente note come pt100 o similari. ne esistono di diversi tipi in base ai materiali. La dizione Pt vuol identifica il materiale , in questo caso il Platino

100 = indica la precisione centesimale

PT1000 = termometro con base platino e precisione millesimale

Ni 100 è il termometro con base nichel e precisione centesimale



## Pirometri

Il pirometro o termometro ad infrarosso viene utilizzato per la misura delle temperature senza contatto sfruttando l'energia radiante emessa da un corpo. I diversi termometri ad infrarosso o pirometri, possono misurare intervalli di temperature da 0 a 1500°C con precisione sino a 0,1°C.



# Strumenti di misura della temperatura

## Termocamere

La termocamera è una particolare telecamera, sensibile alla radiazione infrarossa, capace di ottenere immagini o riprese termografiche. A partire dalla radiazione rilevata si ottengono dunque delle mappe di temperatura delle superfici .

Le termocamere si dividono in radiometriche e non radiometriche. Le prime consentono di misurare il valore di temperatura assoluto di ogni punto dell'immagine.

L'immagine, infatti, è costruita su una matrice di un certo numero di pixel per un certo numero di righe.

L'elettronica dello strumento "legge" velocemente il valore di energia immagazzinata da ogni singolo pixel e genera un'immagine, in bianco e nero o in falsi colori, dell'oggetto osservato.



# Scala della temperatura

## Scala Centigrada

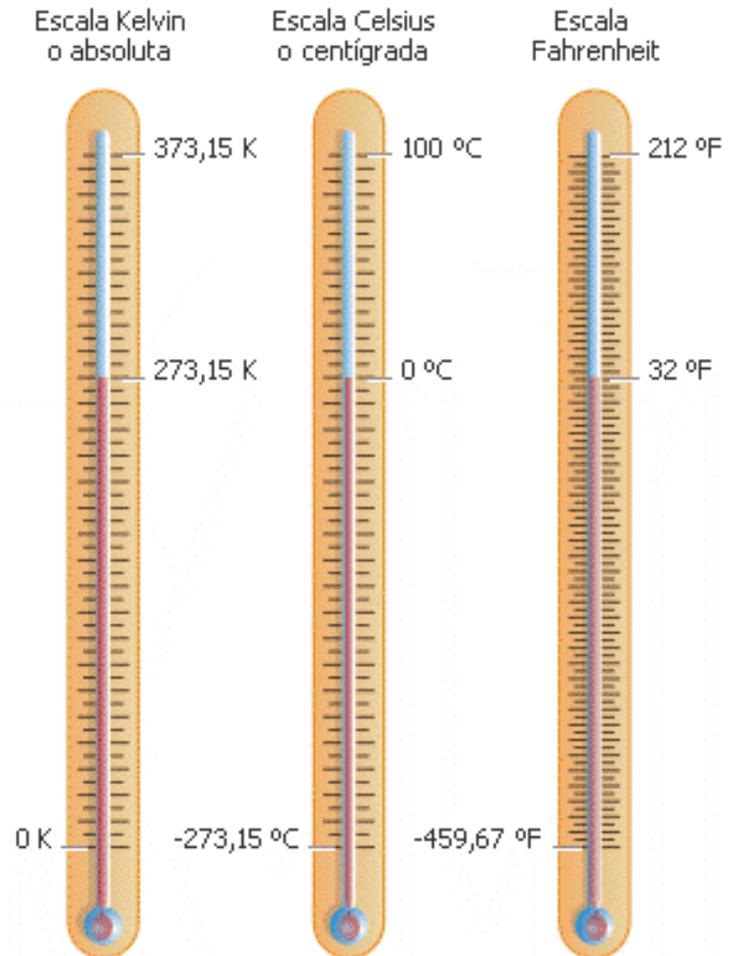
fissa lo 0 alla fusione del ghiaccio e 10° all'ebollizione dell'acqua

## Scala fahrenheit

fissa 32° alla fusione del ghiaccio e 212° all'ebollizione dell'acqua

## Scala kelvin

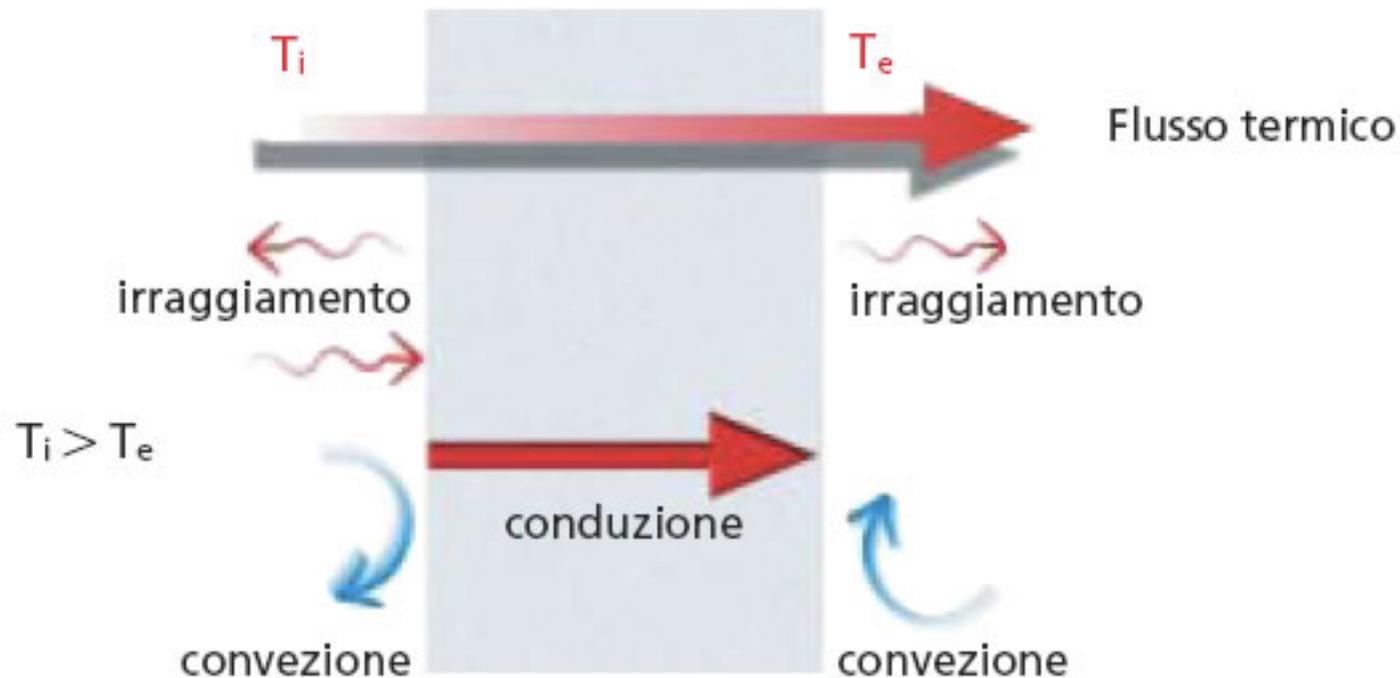
Fissa lo 0° allo 0 assoluto ovvero -273,16 minima temperatura



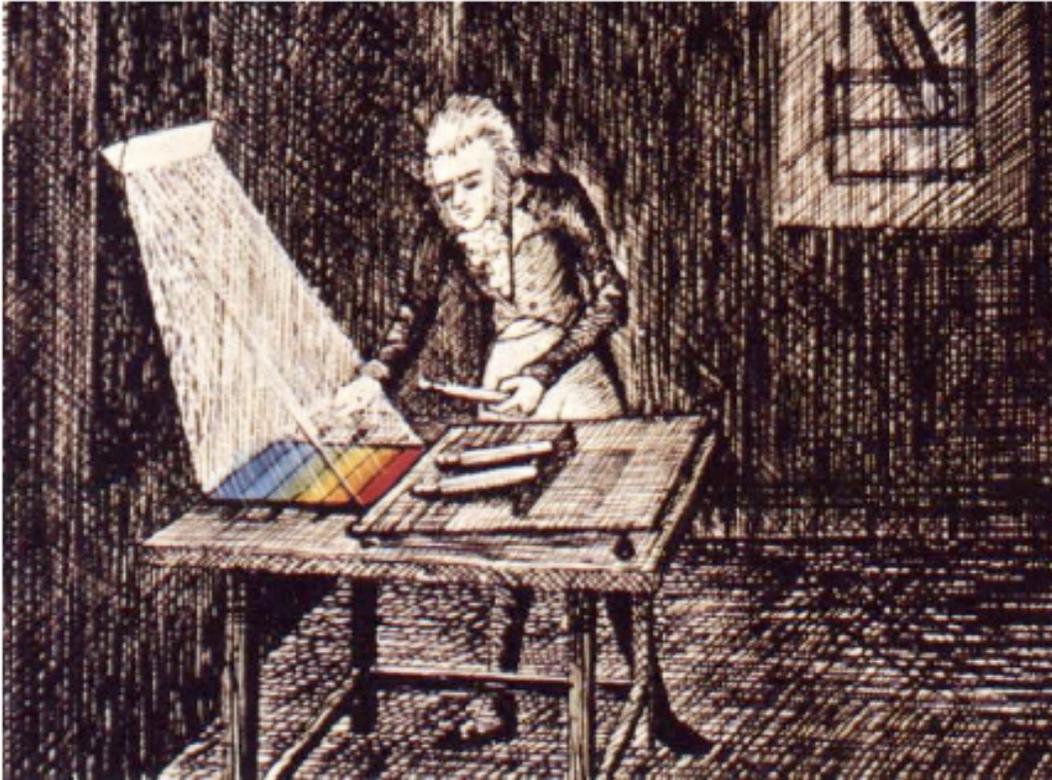
# Trasferimento del calore

Il trasferimento di calore può avvenire per:

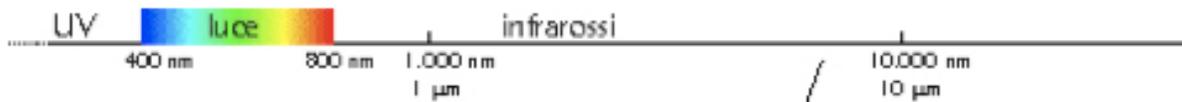
**Conduzione, Convezione e Irraggiamento.**



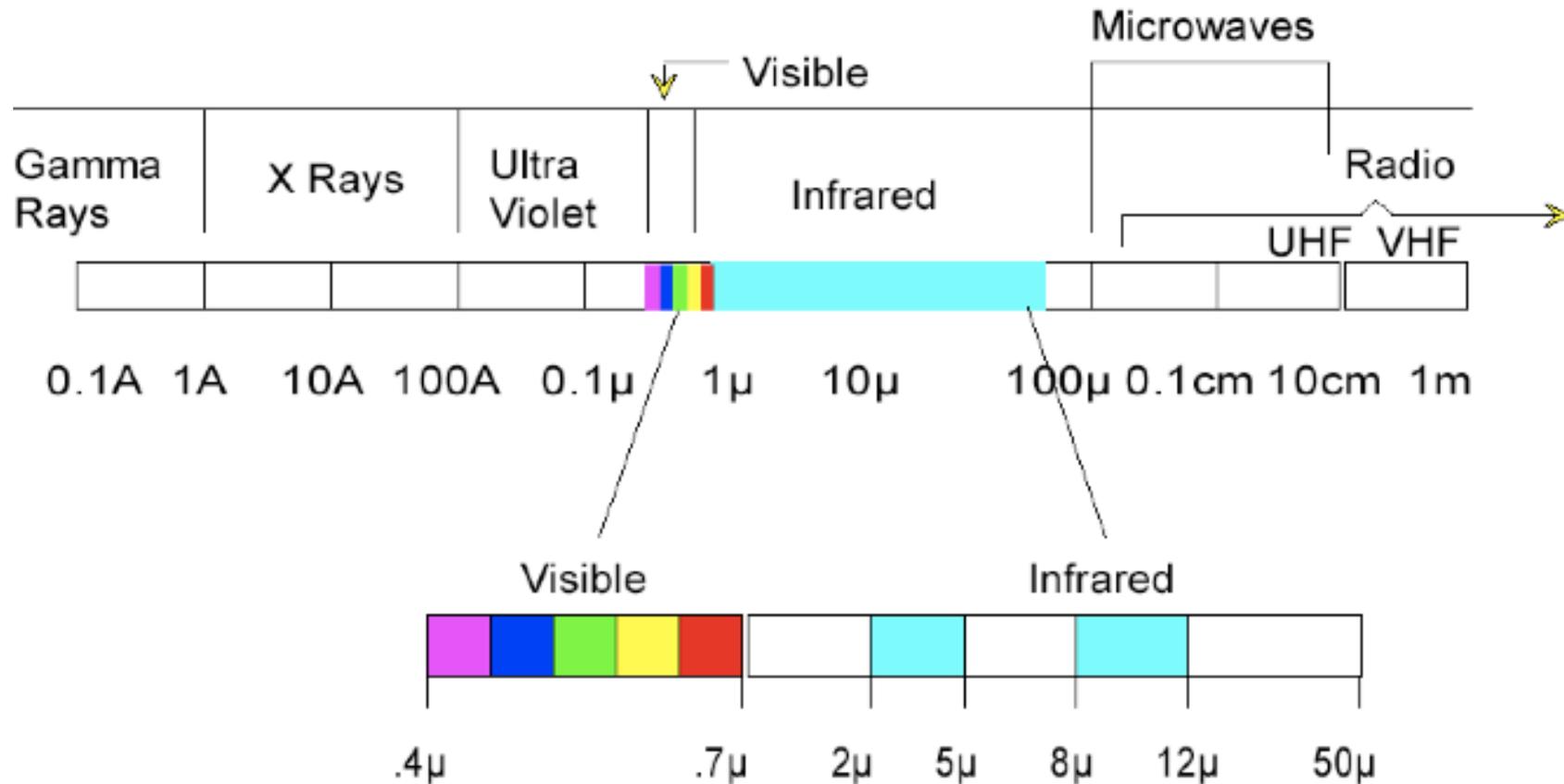
# I primi studi di W.Herschel anno 1801



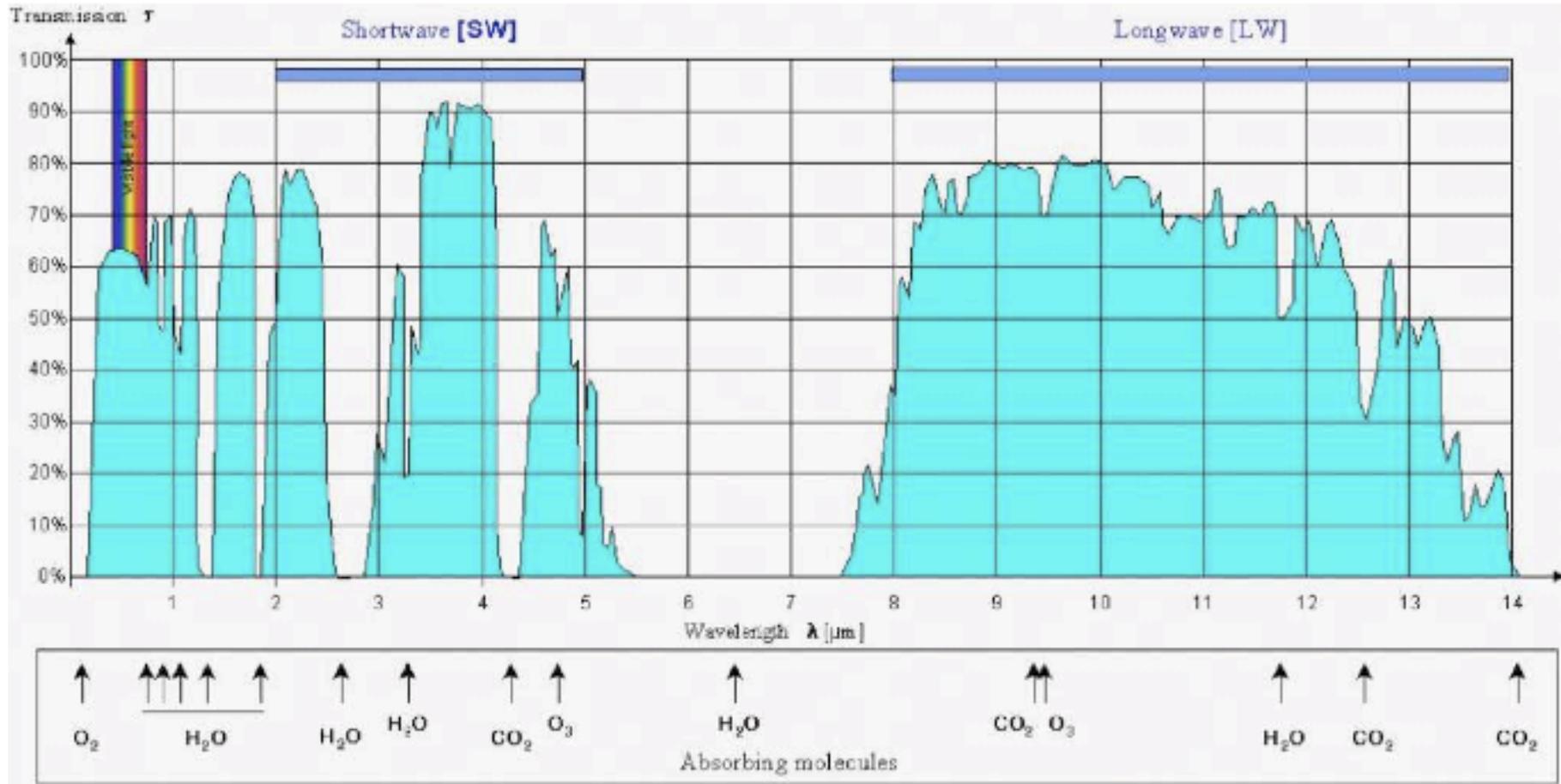
L'esperienza di Herschel fu quella di separare una lama di luce solare nelle sue componenti cromatiche tramite un prisma e di misurare con un termometro la temperatura corrispondente ai vari colori. Scopri che la temperatura massima si aveva sul rosso ma anche che spostandosi oltre il rosso la temperatura saliva ulteriormente il che gli permise di ipotizzare l'esistenza degli infrarossi.



# Schema delle radiazioni nello spettro



# Trasparenza dell' atmosfera all infrarosso



# Legge di Plank

La legge di plank descrive l'emissione del corpo nero

$$W_{BB}(\lambda, T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot c^2 \cdot h}{\lambda^5 \left[ e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1 \right]}$$

$W_{BB}(\lambda, T)$  = intensità della radiazione emessa da una superficie piana di un corpo nero in una semisfera per unità di area, alla lunghezza d'onda  $\lambda$  e temperatura  $T$  [W/m<sup>3</sup>].

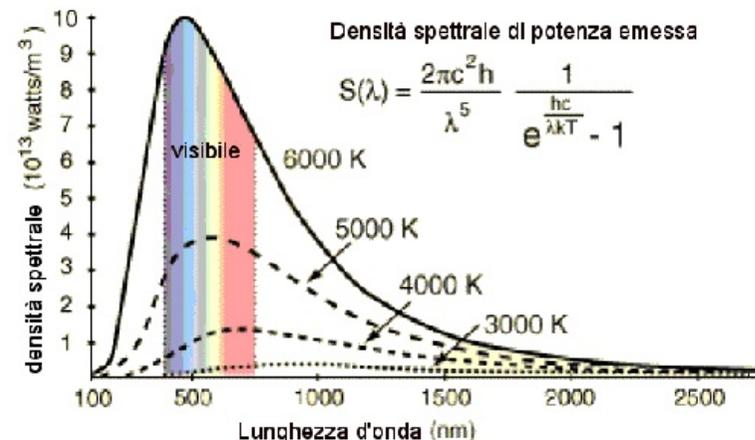
$c$  = velocità della luce nel vuoto [300000 km/s]

$h$  = costante di Plank [6,625\*10<sup>-34</sup>J\*s]

$\lambda$  = lunghezza d'onda della radiazione [m]

$k$  = costante di Boltzman [1,3806505 \*10<sup>-23</sup>J/K]

$T$  = temperatura assoluta del corpo nero [K]



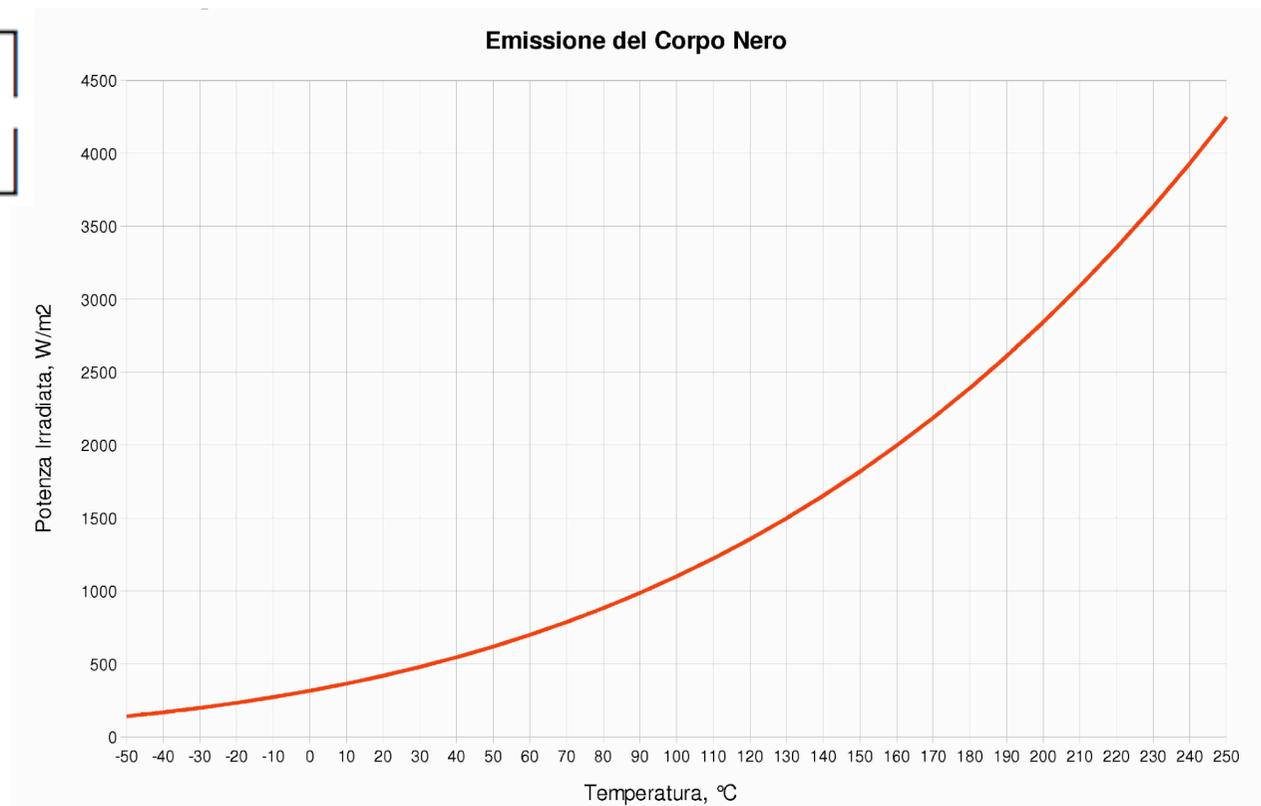
# Leggi fondamentali di Boltzman

## Legge di Stefan-Boltzman

Questa legge integra quella di Plank nella lunghezza d'onda e ci dice quant'è l'energia totale irradiata da un corpo nero in funzione della temperatura:

$$W_T = \sigma \cdot T^4 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$\sigma$  è la costante di Stefan-Boltzman [5,67\*10Wm].



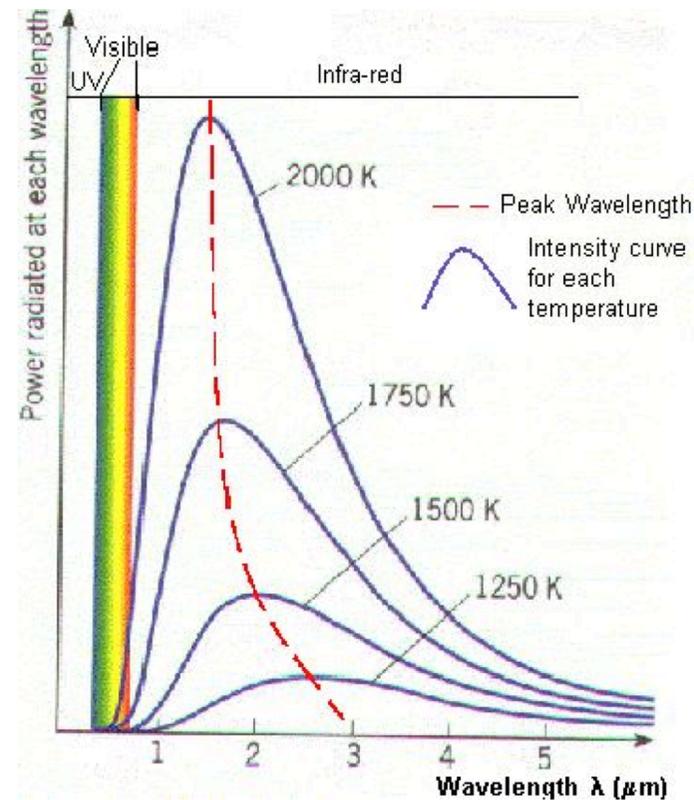
# Legge di Wien

## ▷ Legge di Wien

Questa legge stabilisce una corrispondenza semplice tra la temperatura del corpo nero e la lunghezza d'onda in corrispondenza al massimo di emissione:

$$\lambda_{MAX} = \frac{2891}{T} [\mu m]$$

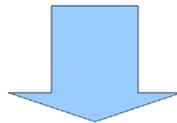
Tale lunghezza d'onda diminuisce all'aumentare della temperatura.



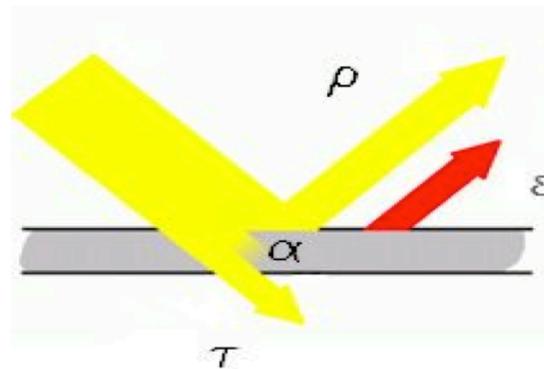
# Legge di kirchoff

## LEGGE DI KIRCHHOFF

Per ogni sostanza il comportamento rispetto all'emissione e all'assorbimento, a parità di temperature, è il medesimo



Il coefficiente di emissività e quello di assorbimento coincidono



$$\alpha = \varepsilon$$

# Conduktivität der Materialien

La conduttività o conducibilità termica è una misura dell'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore

MATERIALE	W/m*K	kg/m <sup>3</sup>	MATERIALE	W/m*K	kg/m <sup>3</sup>
Acciaio	60	7800	Legno di Latifoglie	0,18	800
Acciaio Ni-Cr Inossidabile	13	7700	Malta di calce cemento	1	1800
Alluminio	200	2800	Malta di cemento	1,4	2200
Argilla espansa	0,09	350	Mattone forato in laterizio	0,25	800
Blocchi cavi con argilla espansa	0,22	650	Mattone pieno	0,7	1600
Blocchi cavi con lana di legno mineralizzata	0,45	1500	Mattonre forato porizzato leggero con malta isolante	0,18	650
Blocchi con argilla espansa	0,18	800	Mattore forato	0,36	1200
Calcestruzzo alleggerito con argilla espansa	0,45	1100	Muratura in pietra	2,3	2600
Calcestruzzo alleggerito con argilla espan. > 1100 Kg	0,7	1700	Pannelli di calcio silicato	0,06	250
Calcestruzzo CLS	1,6	1800	Pannelli in fibra di legno 190 Kg/m <sup>3</sup>	0,045	190
Cartongesso	0,21	900	Pannelli in fibra minerale	0,045	115
Cemento armato	2,3	2400	Pannelli in sughero espanso	0,045	110
Granulato di polistirene legato + cemento	0,08	350	Pannelli porosi in fibra di legno 140 Kg/m <sup>3</sup>	0,04	130
Granulato di polistirene legato + cemento	0,06	125	Polietilene espanso in lastre	0,04	30
Granuli di perlite espansa	0,042	90	Polistirene estruso in lastre	0,035	35
Intonaco di calce	0,8	1600	<b>Poliuretano</b>	<b>0,03</b>	<b>30</b>
Intonaco di calce e cemento	1	1800	<b>Rame</b>	<b>380</b>	<b>8900</b>
Intonaco di cemento	1,4	2200	Sughero granulare espanso	0,042	90
Intonaco di gesso (calce e gesso)	0,7	1500	Tramezza in laterizio	0,36	1100
Intonaco plastico per cappotto	0,9	1200	Vetro	0,8	2500
Lana di Roccia	0,04	30	Vetro acrilico (plexiglas)	0,19	1180
Lana di vetro	0,04	20			
Legno di conifere, flusso parallelo alla fibra	0,22	500			
Legno di conifere, flusso trasversale alla fibra	0,13	500			

# Irraggiamento

Nella fisica, per irraggiamento si intende il trasferimento di energia (calore) tra due corpi a mezzo di onde elettromagnetiche. In particolare, al contrario della conduzione e della convezione, l'irraggiamento non prevede contatto diretto tra gli scambiatori, e non necessita di un mezzo per propagarsi.

È un fenomeno che si presenta ad ogni temperatura, ma solo a temperature abbastanza elevate il contributo allo scambio termico per irraggiamento supera i contributi per conduzione e convezione.

La quantità di calore emessa da un corpo per irraggiamento è infatti proporzionale a  $T^4$ , cioè alla quarta potenza della sua temperatura[1]: perciò a basse temperature l'irraggiamento è responsabile di una frazione trascurabile del flusso di calore rispetto alla convezione e alla conduzione, ma al crescere della temperatura la sua importanza aumenta rapidamente fino a diventare il principale artefice della trasmissione del calore per temperature medio-alte.

# Emissività dei materiali

L' emissività di un materiale (di solito indicata con  $\epsilon$ ) è la frazione di energia irradiata da quel materiale rispetto all'energia irradiata da un corpo nero che sia alla stessa temperatura.

Piu semplicemente è una misura della capacità di un materiale di irradiare energia

MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIVITA' $\epsilon_n (\Delta \lambda, T)$	MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIVITA' $\epsilon_n (\Delta \lambda, T)$
Acciaio al carbonio in lamiera	8÷12	30	0.40÷0.60	Carta, bianca	2÷5	17	0.68
Acciaio arrugginito	2÷5	20	0.69	Carta da parati	2÷5	30	0.85÷0.90
Acciaio inossidabile	8÷12	30	0.10÷0.80	Ceramica	2÷5	30	0.85÷0.95
Acciaio zincato in lamiera	2÷5	30	0.23	Ceramica	2÷5	600	0.60÷0.90
Acqua	8÷12	0÷100	0.93	Cromo	8÷12	30	0.02÷0.20
Alluminio non ossidato	8÷12	30	0.02÷0.10	Cromo lucidato	2÷5	50	0.10
Alluminio ossidato	8÷12	30	0.20÷0.40	Ferro arrugginito	8÷12	30	0.50÷0.70
Amianto	8÷12	30	0.95	Ferro forgiato opaco	8÷12	30	0.90
Argento	8÷12	30	0.02	Ferro laminato in fogli	2÷5	20	0.66
Argilla	8÷12	30	0.95	Ferro lucidato	2÷5	400÷1000	0.14÷0.38
Asfalto	8÷12	30	0.95	Ferro tipo "latta" in fogli	2÷5	100	0.07
Bronzo greggio	2÷5	50÷150	0.55	Gesso	2÷5	30	0.92
Calcere	8÷12	30	0.98	Ghiaccio	8÷12	<0	0.98
Calce	2÷5	30	0.30÷0.4	Ghiaia	8÷12	30	0.95
Calcestruzzo	8÷12	30	0.95	Ghisa greggia	2÷5	50	0.81

# Emissività dei materiali

MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIVITA' $\epsilon_n (\Delta \lambda, T)$
Ghisa ossidata	8÷12	30	0.60÷0.95
Gomma	8÷12	30	0.95
Gomma elastica	2÷5	30	0.86
Granito, superficie naturale	5	36	0.96
Corteccia d'albero	8÷12	30	0.98
Legno	2÷5	30	0.78
Legno compensato	2÷5	17	0.83÷0.98
Malta per intonaco	2÷5	17	0.86÷0.95
Marmo	2÷5	20	0.93
Mattone refrattario	2÷5	1-100	0.75
Mattone rosso (comune)	2÷5	20	0.95
Neve	8÷12	<0	0.90
Pietra	2÷5	20	0.92
Pietra da calce	5	36	0.96
Plexiglas, Perspex	2÷5	30	0.86
P.V.C.	2÷5	17	0.91÷0.93
Rame lucidato	8÷12	30	0.03

MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIVITA' $\epsilon_n (\Delta \lambda, T)$
Rame ossidato	8÷12	30	0.40÷0.80
Sabbia	8÷12	30	0.90
Terreno	8÷12	30	0.9÷0.98
Tessuto	2÷5	30	0.95
Tessuto in juta, non colorato	2÷5	30	0.87
Tessuto per abito	8÷12	30	0.95
Vernice	8÷12	30	0.90÷0.95
Vernice per radiatori	2÷5	100	0.77÷0.85
Fibra di vetro	2÷5	20	0.80÷0.98
Vetro piatto	8÷12	30	0.85
Ciottoli	2÷5	20	0.74÷0.96
Foglia d'albero	8÷12	30	0.98
Lana	2÷5	30	0.78
Nastro adesivo nero	5	30	0.97
Pelle grezza	2÷5	30	0.98
Terrecotte	2÷5	70	0.91

# Termocamere, quale strumentazione

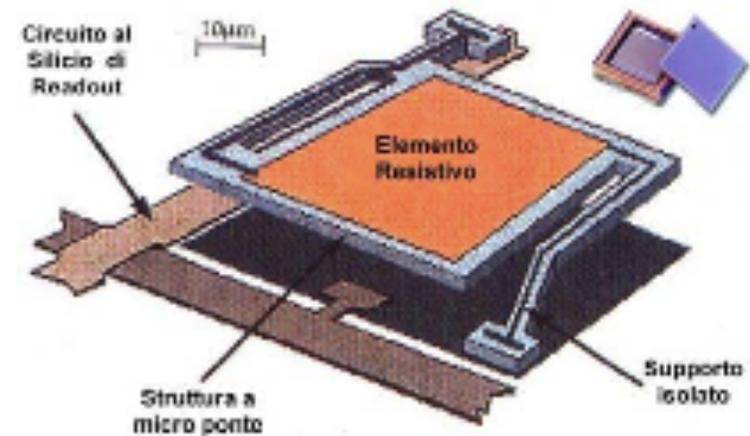
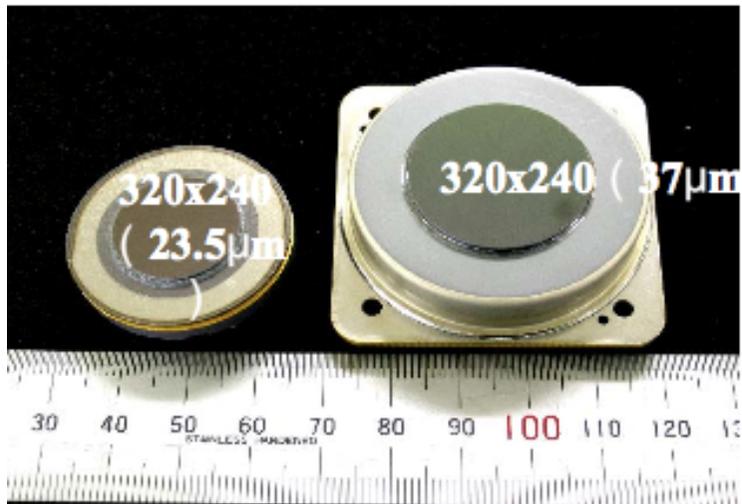


**Il mercato offre molti modelli di strumentazione termografica**

**Parametri tecnici:**

- Tipo di sensore
- Numero pixel del sensore
- Risoluzione termica
- Risoluzione spaziale o geometrica
- Frequenza immagine

# Il sensore



- Il sensore microbolometrico ha la funzione di trasformare l'energia Infrarossa che colpisce ogni singolo elemento del sensore in un grandezza fisica misurabile. In particolare il sensore varia il proprio valore di resistenza elettrica, in funzione dell'energia IR, quindi temperatura dell'oggetto inquadrato

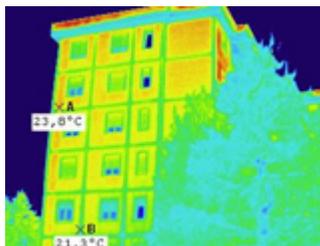
# Dimensione del sensore

La risoluzione dei sensori commerciali attualmente sul mercato sono sostanzialmente 3: 160 x 120 pixel, 320 x 240 pixel, 640 x 480 pixel (gli altri sono derivati da questi formati base)

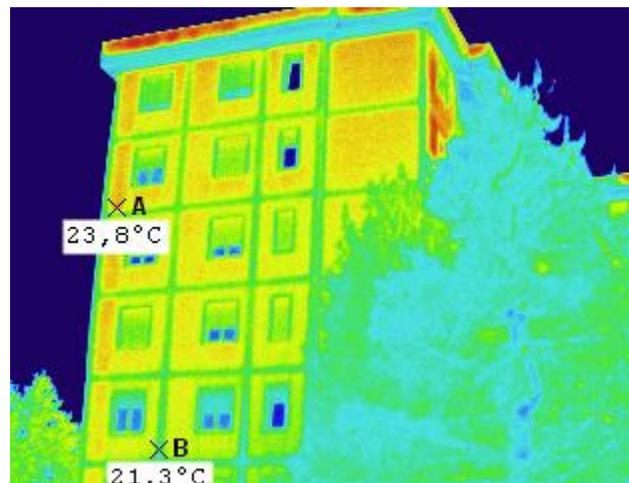
A seguire l'immagine puramente indicativa di come varia l'immagine a parità di fov (angolo visivo) della risoluzione di una termocamera le immagini ad alta risoluzione permettono di apprezzare particolari con una migliore definizione che corrisponde

anche alla possibilità di lettura della temperatura del singolo dettaglio.

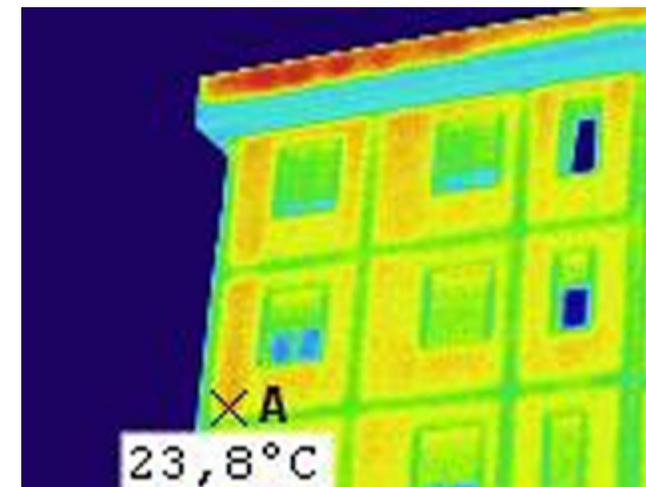
**160 x 120 pixel**



**320 x 240 pixel**



**640 x 480 pixel**



# Calcolo della risoluzione spaziale

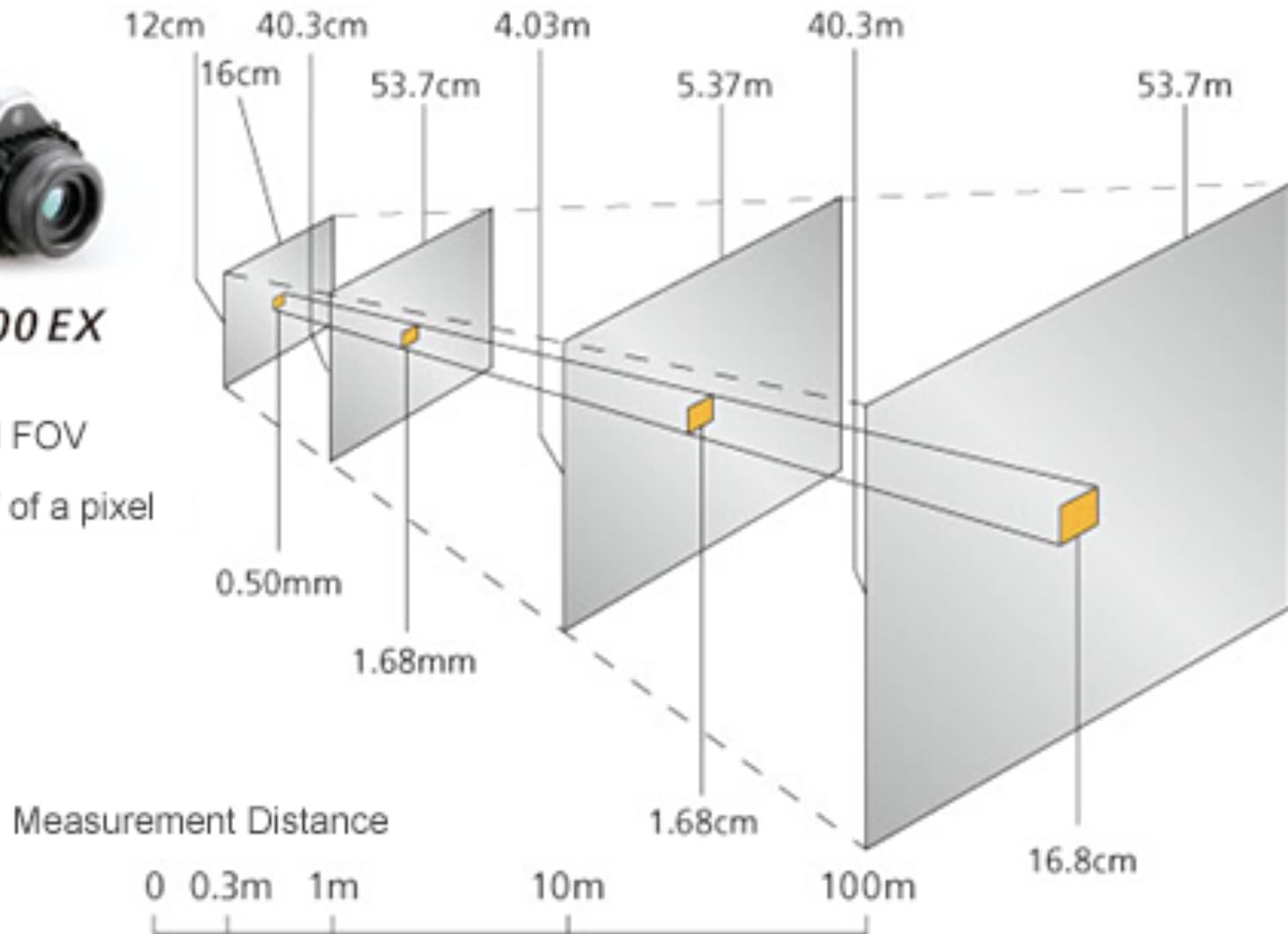
- ▷ Ogni obiettivo ha una risoluzione geometrica che definisce le dimensioni dell'oggetto più piccolo di cui si può misurare la temperatura alle varie distanze.
- ▷
  - La risoluzione si esprime in mrad. e permette in modo semplice di ottenere la dimensione corrispondente ad un pixel alle varie distanze.
- ▷
  - Un obiettivo con risoluzione geometrica 1,6 mrad. permette di misurare un oggetto con le dimensioni minime pari a: **risoluzione in mm.= (1,6 x distanza in metri)**

# Risoluzione spaziale



*TVS-200 EX*

-  Total FOV
-  FOV of a pixel



# I dati importanti sulla scheda tecnica

## TVS-200EX Specifications

Measurement range	-20 to 500°C:Standard to 2000°C (with optional high temperature filter)
Temperature resolution	Better than 0.08°C with Averaging
Accuracy	<u>±2°C or ±2% *1</u>
Frame time	1/60 seconds
Detector	Uncooled FPA, 320(H) x 240(V) VOx microbolometer
Wavelength	8 to 14μm
FOV	30.6°(H)x23.1°(V) (with standard 14mm lens)
Spatial resolution	<u>1.68mrad</u>
Measurement distance	30cm to ∞
Effective pixels	<u>320(H) x 240(V)</u>
Display	3.5" semi-transmissive color LCD monitor
Visible camera	640x480
Multi point temperature display	5 points

# Normativa di riferimento

---

## **Norma UNI EN 13187 (da ISO 6781:1983)**

**Questa norma definisce un metodo qualitativo che utilizza un esame termografico, per la rilevazione delle irregolarità termiche degli involucri edilizi. Essa si applica alla determinazione della posizione delle irregolarità termiche e delle infiltrazioni di aria attraverso un involucro edilizio**

# Condizioni per la prova termografica

- a) Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, la temperatura dell'aria esterna non deve essere maggiore di oltre  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ , rispetto alla temperatura all'inizio della prova.
- b) Per struttura pesanti con grande massa termica, è necessario tenere conto degli effetti di immagazzinamento di calore.
- c) Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, e durante la prova stessa, la differenza di temperatura dell'aria attraverso l'involucro edilizio non deve essere minore del valore numerico di  $3/U$ , dove  $U$  rappresenta il valore teorico del coefficiente di trasmissione termica della parete, espresso in  $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$  e comunque mai minore di  $5^{\circ}\text{C}$ .
- d) Per almeno 12 h prima dell'inizio della prova e durante la prova, le superfici dell'involucro in esame, non dovrebbero essere esposte alla radiazione solare diretta.
- e) Durante la prova, la temperatura dell'aria esterna ed interna non devono variare, rispetto ai valori rilevati all'inizio della prova, di oltre  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  rispettivamente. Gli effetti delle variazioni di temperatura durante la prova, possono essere verificati sovrapponendo l'immagine definitiva e quella iniziale. Se la variazione è minore di  $1^{\circ}\text{C}$  o  $2^{\circ}\text{C}$ , il requisito di prova si considera soddisfatto.

# La termografia sugli edifici ci permette di:

---

- **Eseguire indagini non distruttive sull'edificio**
- **Identificare i ponti termici**
- **Identificare e localizzare i discontinuità di isolamento.**
- **Identificare e localizzare impianti e guasti**
- **Identificare e localizzare la presenza di umidità**
- **Identificare e localizzare distacchi negli intonaci e rivestimenti**
- **Avere una migliore conoscenza del manufatto.**

# Qualificazione personale addetto alle prove

- La Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive è normata dalla Uni EN 473
- La normativa stabilisce un sistema di qualificazione e certificazione del personale incaricato di effettuare le prove non distruttive PND, in particolare le ore di formazione teorica, i requisiti di addestramento pratico, le modalità di esame, le modalità di certificazione ecc
- Il personale è diviso in 3 livelli
  - I Livello Operatore pratico che opera sotto la direzione di un 2° Livello
  - II Livello Può fare le prove e stendere le relazioni
  - III Livello Può fare le prove, stendere le relazioni e formare i livelli precedenti

In Italia esistono pochi enti che certificano il personale per la termografia, i più attivi sono il C.C.P.N.D. , R.I.I.N.A e I.I.S.