

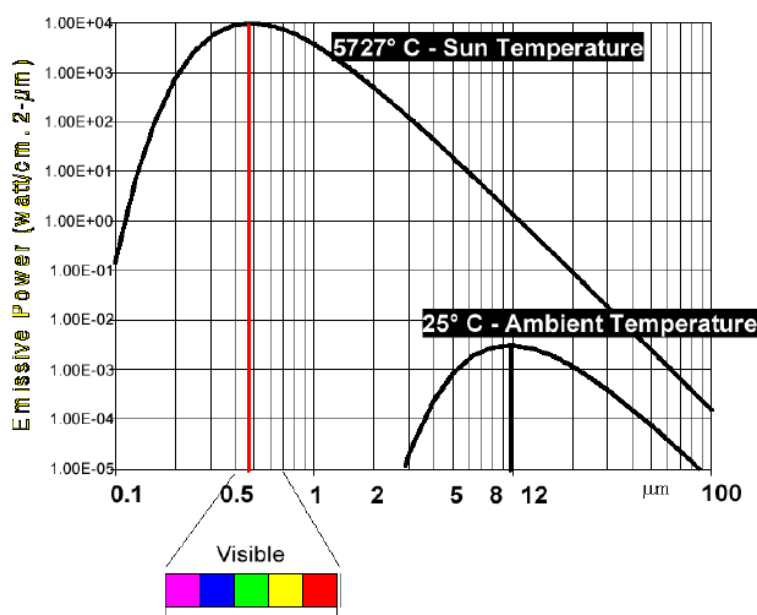
TERMOGRAFIA ALL'INFRAROSSO

Introduzione

La termografia all'infrarosso effettua sempre misure di temperatura ma di temperature più elevate. Le temperature più elevate si misurano tramite l'irraggiamento; o meglio si misura la quantità di energia irraggiata dal corpo stesso. L'esistenza di tale radiazione fu provata da W. Herschel nel 1801 e successivamente studiata da M. Melloni che concluse che tutte le leggi che valevano per la radiazione visibile valevano anche per l'infrarosso. 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. Intuì l'esistenza dell'infrarosso.

Corpo nero, corpo grigio e corpo reale

Nonostante il corpo nero sia un'astrazione fisica, il concetto di corpo nero è molto utile per studiare fenomeni come l'irraggiamento dunque lo trattiamo molto brevemente per poi poter studiare la misura di temperatura attraverso la termografia. Si definisce corpo nero ideale un qualsiasi corpo in grado di assorbire completamente qualsiasi radiazione che lo investe e in grado di emettere la massima quantità possibile di radiazione per quella temperatura. È possibile rappresentare l'energia emessa da un corpo nero in funzione della lunghezza d'onda tramite le curve di emissioni che dipendono dalla temperatura del corpo nero stesso. A temperature superiori l'emissione è più elevata a lunghezze d'onda inferiori. Questo grafico dimostra dunque che un corpo a temperatura ambiente non emette radiazioni visibili.



L'emissione del corpo nero è dunque funzione della lunghezza d'onda della radiazione e della temperatura assoluta del corpo secondo la legge di Planck:

$$W_{BB}(\lambda, T) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc_0}{\lambda kT}} - 1 \right)} \left[\frac{W}{m^3} \right]$$

dove:

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$$

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23}$$

$$c_0 = 3 \cdot 10^8$$

λ

T

costante di Planck

costante di Boltzmann

velocità della luce nel vuoto

lunghezza d'onda della radiazione

temperatura assoluta del corpo nero

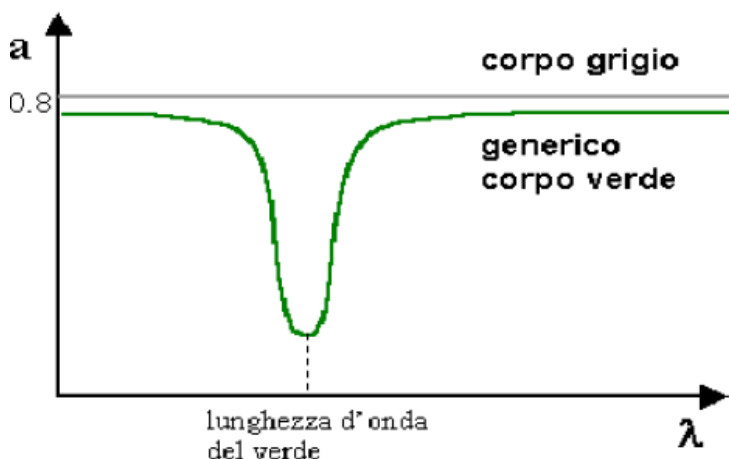
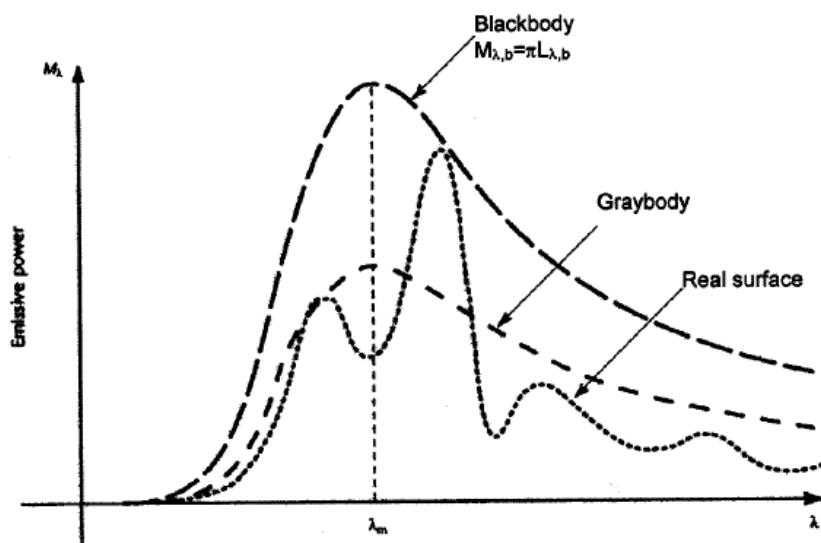
Se si analizza poi con varia il picco di emissione in funzione della temperatura si ricava la legge di Wien che dunque stabilisce una corrispondenza semplice tra la temperatura del corpo nero e la lunghezza d'onda in corrispondenza al massimo di emissione:

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

Se si integra la curva e dunque si calcola l'area sottesa si può dedurre l'energia complessiva irradiata da un corpo nero in funzione della temperatura:

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

Questa relazione è nota come legge di Stefan-Boltzmann. Nella realtà i corpi neri non esistono ma possono essere realizzati oggetti che simulano il comportamento del corpo nero e che sono chiamati corpi neri reali. Il corpo nero reale realizzato generalmente con un recipiente con un piccolo foro attraverso il quale le radiazioni elettromagnetiche possono entrare ed uscire. Se il corpo però emette a tutte le lunghezze d'onda una percentuale fissa della radiazione messa dal corpo nero si parla allora di corpo grigio. Una superficie reale in realtà non è un corpo grigio perché emette radiazione con un andamento differente da quello del corpo nero e grigio stesso. Quindi ad una certa lunghezza d'onda emetterà una certa percentuale della radiazione emessa dal corpo nero e ad un'altra lunghezza d'onda emetterà un'altra percentuale e così via. È però possibile affermare che sicuramente non emette più del corpo nero. Definiamo corpo verde un corpo che assorbe solo la componente cromatica verde



Emissività

Definiamo dunque l'emissività di un corpo il rapporto tra l'energia irradiata dal corpo generico diviso energia irradiata dal corpo nero alla stessa lunghezza d'onda e alla stessa temperatura. L'emissività è dunque un coefficiente che può al massimo essere 1 e al minimo è 0, valore tendenzialmente teorico. L'emissività di un corpo dipende da più fattori quali:

- Tipo di materiale
- Angolo di vista (cioè la forma)
- Rugosità superficiale
- Temperatura
- Lunghezza d'onda

Se occorre fare una misura di temperatura serve conoscere il valore dell'emissività che può essere stimata con diverse tecniche. Come abbiamo già visto i corpi reali hanno un'emissività non costante. Adattando la legge di Boltzmann per i corpi generici si ottiene:

$$W = \varepsilon \sigma T^4$$

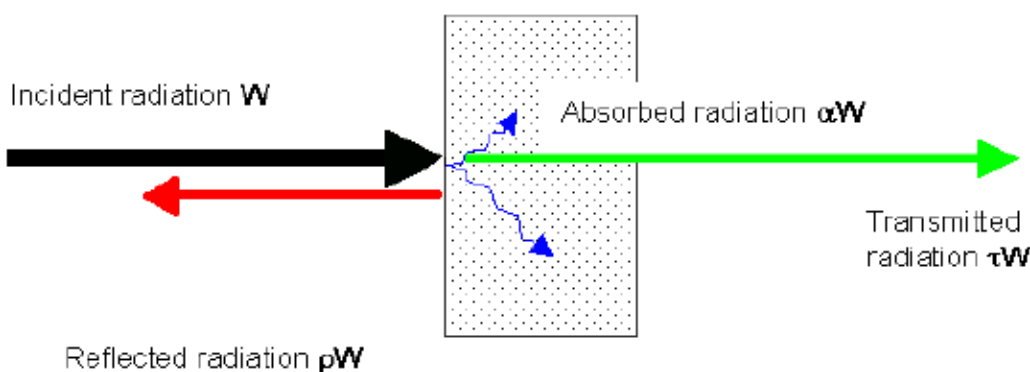
dove ε è il fattore di emissività del corpo ed è pari a 1 per i corpi neri, 0 per uno specchio infrarosso e compreso tra 0 e 1 per un corpo generico, come già detto. In generale si misura l'energia W irradiata dal corpo e, conoscendo sigma ed ε è possibile dedurre la temperatura del corpo stesso.

Termografia

La termografia permette misurando la radiazione emessa in campo infrarosso da un corpo di risalire alla temperatura del corpo. La termografia all'infrarosso permette di risalire alla mappa termica della scena inquadrata mediante l'interpretazione della radiazione percepita da un array bidimensionale di sensori: la termocamera. La misura è estesa ad una superficie, non a un singolo punto. Nella termografia la misura avviene senza contatto dunque c'è assenza dell'effetto di carico e mi permette di effettuare misure che altrimenti sarebbero poco praticabili con altri metodi. È infatti possibile studiare aree pericolose e monitorare corpi ad elevata temperatura. Questo tipo di tecnica di misura permette inoltre di compiere misure senza interrompere il ciclo produttivo. Hanno un campo di misura molto esteso che va da -20° a 1500°C . La risposta è del tipo sistema del primo ordine con una costante di tempo attorno ai 12ms. Nonostante tutti questi pregi presentano una serie di svantaggi come:

- Costo dell'apparecchiatura a causa della tecnologia
- Necessità di un operatore qualificato
- Grossi impedimenti nel caso di materiali con emissività bassa
- Necessità di schermare la termocamera dalle emissioni ambientali

Analizziamo ora cosa succede a un oggetto in termini di interazione con infrarosso. La radiazione W incidente si divide in tre parti: una che si riflette ρW , una che viene assorbita αW e una che viene trasmessa τW . Possiamo parlare di corpi non trasparenti all'infrarosso quando cioè la radiazione trasmessa è nulla.



Il principio di conservazione dell'energia ci permette di concludere che l'energia della radiazione incidente è pari alla somma dell'energia della radiazione riflessa, assorbita e trasmessa:

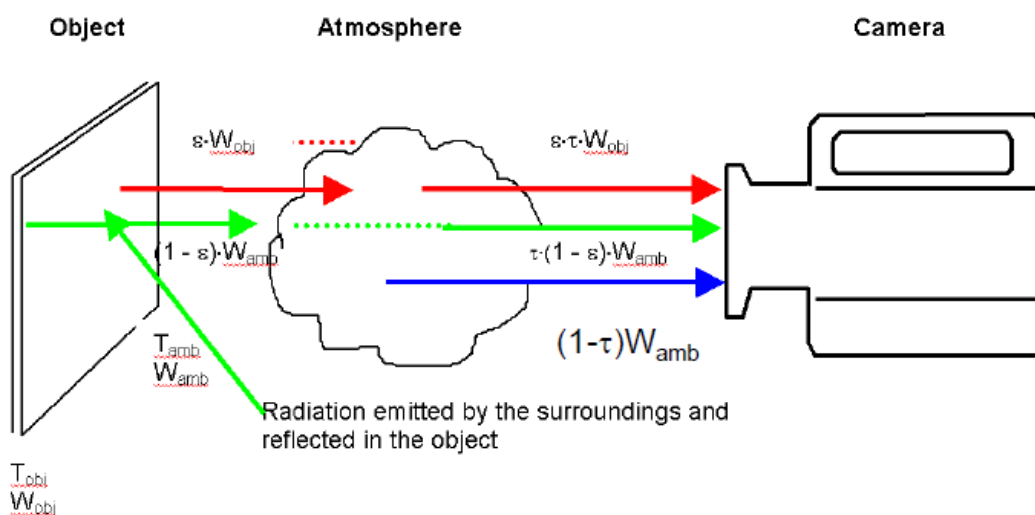
$$W = \alpha W + \rho W + \tau W = W(\alpha + \rho + \tau)$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

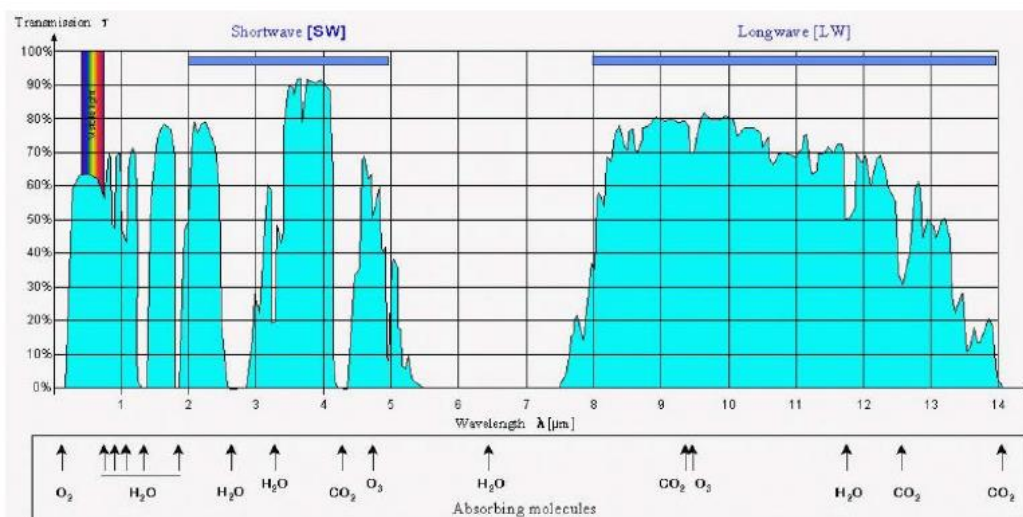
La radiazione infrarossa che raggiunge la termocamera è composta da 3 componenti dunque:

1. L'energia emessa dal corpo di cui voglio rilevare la temperatura: freccia rossa. Questa è l'unica componente che idealmente si vorrebbe avere nella misura.
2. L'energia proveniente da altre sorgenti e che viene riflessa dal corpo oggetto della misura e raggiunge la termocamera. Può quindi vedere la riflessione di altri corpi. Può quindi essere opportuno schermare per ridurre l'energia irraggiata dagli altri corpi.
3. L'energia emessa dall'atmosfera in prossimità della termocamera.

Dunque l'energia emessa dal corpo oggetto della misura in direzione dell'ottica della termocamera viene attenuata dall'atmosfera che si interpone fra il corpo stesso e la termocamera.



È dunque possibile ottenere un grafico che rappresenta la percentuale di energia che raggiunge la telecamera dopo un certo percorso. Nel grafico possono essere presenti zone con buona trasmissibilità (tra 8-14μm) detta long wave, zone in cui invece la trasmissione non è ottima come tra 2-5 μm detta short wave e altre zone in cui non c'è proprio trasmissibilità. Se si è a temperatura ambiente si lavora con il long wave. A temperature superiore si usa invece le short wave.

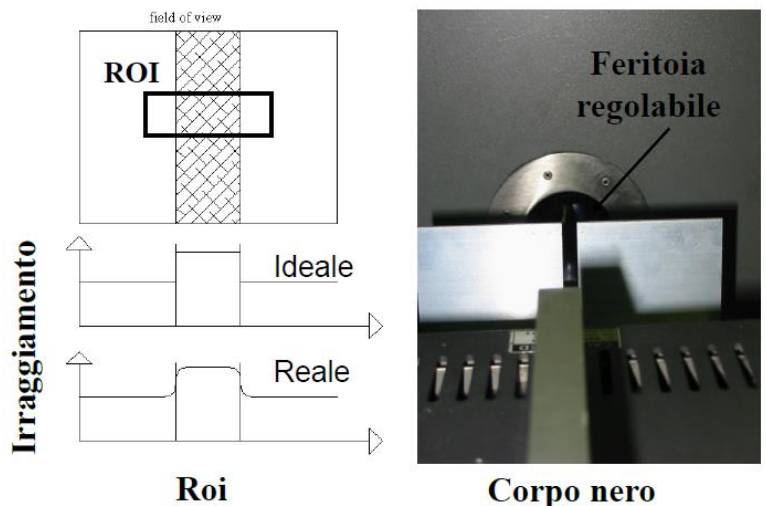


L'elemento sensibile alla radiazione infrarossa delle termocamere viene chiamato detector. Sono costituiti da una matrice di pixel e ne esistono di due tipologie:

- Detector fotonico = sono costruiti su materiale semiconduttore e sfruttano l'interazione fotonica con gli elettroni: a causa di questa interazione vengono generate cariche elettriche, verranno poi accelerate da un campo elettrico e misurate. Misurando le cariche si può dedurre la quantità di energia emessa. Non ci si aspetta che ci siano inerzie importanti perché l'operazione è rapida. Sensori adatti anche a misure estremamente dinamiche. La lettura della mia scena è fatta un pixel alla volta grazie a degli specchi. La frequenza di campionamento è pari a 1 MHz quindi è 20000 volte più pronto di quelli microbolometrici
- Detector termico o microbolometrico = è una matrice di tante piccole termoresistenze. Quando arriva la radiazione infrarossa la termoresistenza tende a riscaldarsi aumentando la sua resistenza elettrica. Misurando tale variazione di resistenza elettrica si può stimare la temperatura. La frequenza di campionamento è 50Hz. La loro risposta non dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione.

Cross-talking

Ipotizziamo ora di porre davanti alla termocamera un corpo nero visto attraverso 2 lamine metalliche divise da una feritoia, quello che si dovrebbe vedere in teoria sarebbe un irraggiamento elevato in corrispondenza della feritoia e un irraggiamento basso in corrispondenza delle lamine. Si dovrebbe quindi avere un impulso rettangolare rilevato dalla termocamera. In realtà quello che si ottiene è un impulso con gli spigoli arrotondati a causa del fenomeno detto cross-talking fra i pixel, ovvero il fatto che, in prossimità di grandi gradienti di irraggiamento, i pixel vicini si influenzano mutuamente generando dei gradienti più dolci di quelli reali.



Risposta dinamica

Per studiare ora la risposta dinamica della termocamera, mettiamo davanti alla telecamera un corpo nero, e poi interponiamo fra i 2 elementi un disco rotante munito di 2 scanalature. Mentre il disco ruota, in alcuni istanti temporali la termocamera vedrà il disco (a temperatura ambiente, quindi che genera un irraggiamento modesto), in altri istanti la termocamera vedrà il corpo nero riscaldato, che emette una grande quantità di radiazione IR. La termocamera ha così un ingresso controllato con andamento da onda quadra. La risposta della termocamera non è perfettamente un'onda quadra perché si ha un limite sulla prontezza del sensore, e quindi l'uscita è come una sequenza di risposte al gradino di un sistema del primo ordine.

È possibile fare delle misure di irraggiamento tramite strumenti più economici come ad esempio sfruttando i CCD. L'idea è usare una telecamera per misurare la radiazione emessa al fine di fare misure economiche. Si mette davanti alla telecamera un filtro che taglia il visibile. È un metodo sensibile a temperature estremamente elevate. Ha fatto una taratura nel senso che metteva il corpo nero reale a una certa temperatura e vedeva la luminosità dell'immagine.

