

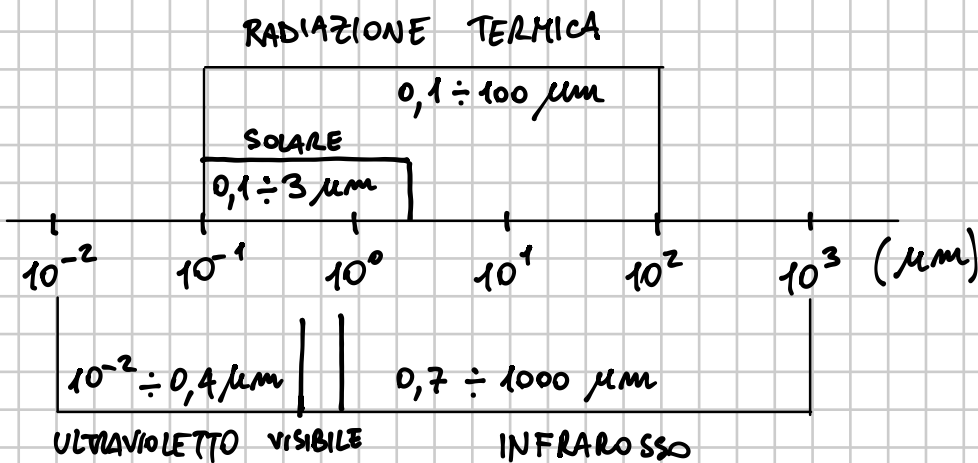
# IRRAGGIAMENTO

Qualsiasi corpo emette, a qualsiasi temperatura (anche in prossimità dello zero assoluto) onde elettromagnetiche in un campo di lunghezze d'onda all'incirca pari a  $10^{-1} \div 10^2 \mu\text{m}$  (RADIAZIONE TERMICA)

- INFRAROSSO (parte) ←
- VISIBILE
- ULTRAVIOLETTO (parte)

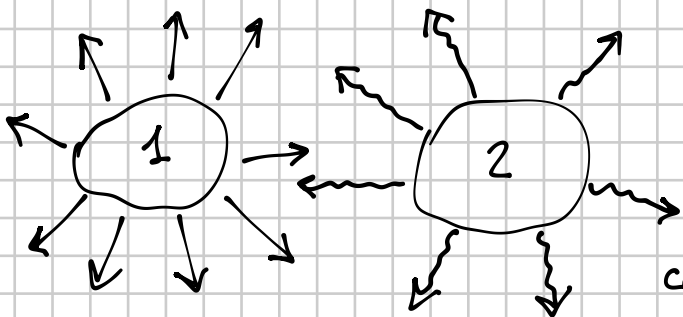
↓  
DIPENDENTE DALLA  
TEMPERATURA DEI CORPI

al di fuori di questo intervallo, la causa dell'emissione non è riconducibile alla temperatura del corpo



I corpi, per il fatto di trovarsi a una certa temperatura, convertono l'energia termica (en. cinetica microscopica interna) immagazzinata nel corpo in energia radiante, che dalla superficie del corpo lo abbandona contribuendo alla diminuzione del contenuto di energia interna del corpo.

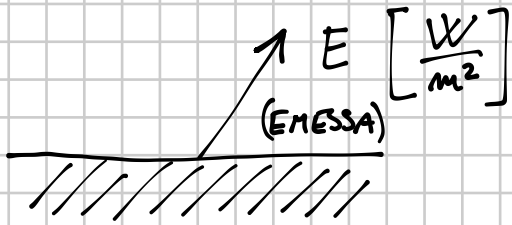
↓  
conversione continua di energia interna in flusso radiante



Il corpo più freddo e il corpo più caldo emettono onde E.M. che si propagano

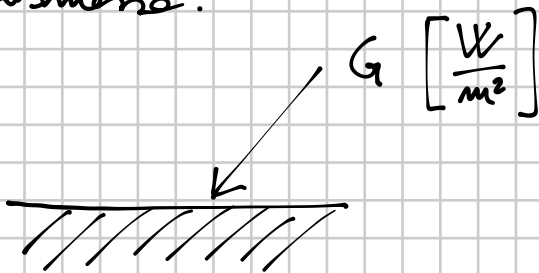
nello spazio e, anche se in direzioni diverse, entrambi contribuiscono al trasferimento di energia, che al netto avviene dal corpo più caldo a quello più freddo. La radiazione che è emessa da un corpo e che incide nell'altro è, in generale, parzialmente ASSORBITA (e riconvertita in en. interna), parzialmente RIFLESSA e parzialmente TRASMessa.

Il POTERE EMISSIVO TOTALE  $E$  è l'energia termica raggiante emessa da una superficie, per unità di tempo e di area (della superficie emittente) in tutte le direzioni e su tutte le lunghezze d'onda.

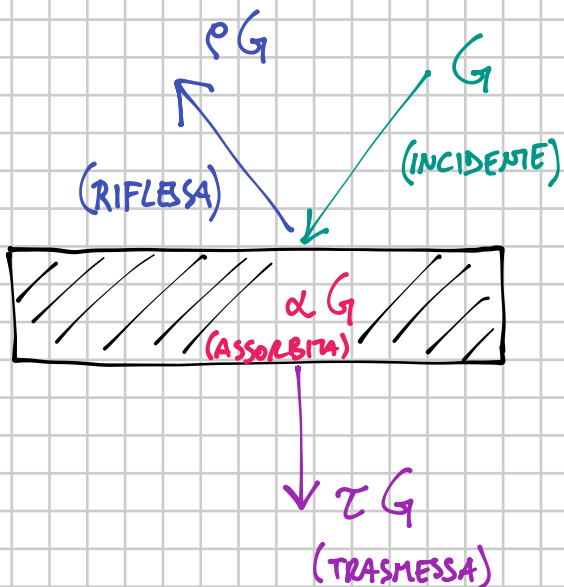


$E$  consiste nella  sola emissione originale della superficie: non include eventuali contributi di energia riflessa (presenti se vi è energia raggiante incidente sulla superficie stessa) e corrisponde quindi all'INTENSITÀ (IRRADIAIMENTO) dell'onda emessa.

Infatti, in generale, sulla stessa superficie, a causa della presenza di altre superfici che la circondano, ci sarà energia termica raggiante incidente, che in parte sarà assorbita, riflessa e trasmessa:



$G$  = energia termica raggiante incidente sulla superficie, per unità di tempo e di area della superficie inaggiata (INTENSITÀ DELL'ONDA o IRRADIAIMENTO)



$\alpha$  = coeff. di ASSORBIMENTO TOTALE  
 $p$  = coeff. di RIFLESSIONE TOTALE  
 $\tau$  = coeff. di TRASMISSIONE TOTALE

$$\alpha G + pG + \tau G = G \quad (\text{COEFFICIENTI ADIMENSIONALI})$$

$$\Downarrow$$

$$\alpha + p + \tau = 1$$

Quasi sempre, quando si vuole descrivere analiticamente un fenomeno fisico, conviene fare riferimento a una situazione ideale su cui basare i concetti e le definizioni fondamentali

Nell'irraggiamento termico questo insieme di circostanze ideali è rappresentato dal CORPO NERO

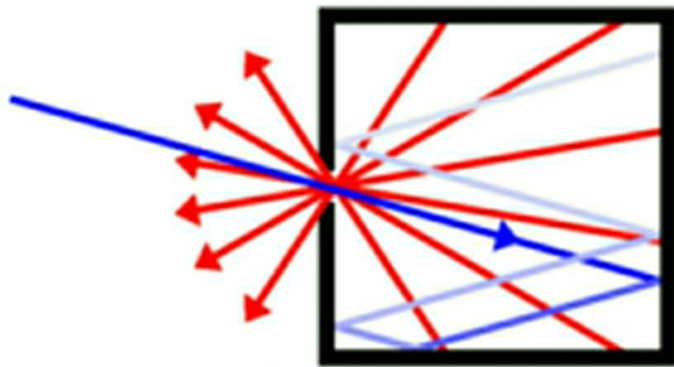
Si definisce CORPO NERO un corpo ideale che assorbe tutta l'energia termica radiante incidente su di esso, quale che sia la distribuzione spettrale (cioè delle lunghezze d'onda) e spaziale (cioè da quali parti arrivi) della radiazione incidente: il corpo nero è pertanto l'assorbitore perfetto.

Solo alcune superfici, come il NEROFUMO, approssimano il corpo nero nell'assorbimento di energia termica radiante.

Una CAVITÀ tenuta a temperatura costante e con un forellino è una buona approssimazione di un corpo nero, dato che la radiazione incidente viene in pratica completamente assorbita dall'apertura della cavità, dopo una serie di riflessioni multiple, senza poterne riemergere.

Il corpo nero è la CAVITÀ (non l'involucro)

Le pareti vengono portate alla temperatura desiderata  $T$  ed emettono radiazione termica che, quando riesce a fuoriuscire dal forellino, rappresenta la RADIAZIONE EMESSA DAL CORPO NERO



— radiazione incidente che viene completamente assorbita e che riscalda la cavità interna

— radiazione emessa che dipende solamente dalla temperatura interna

## PERCHÉ È IMPORTANTE IL CORPO NERO?

Il concetto di corpo nero è di fondamentale importanza nello studio delle scambi termici per irraggiamento. In quanto **PERFETTO ASSORBITORE**, infatti, viene adottato come campione di riferimento per le proprietà assorbenti dei corpi reali.

Esso, inoltre, costituisce anche il campione a cui si paragonano le proprietà emittenti dei corpi reali, poiché il corpo nero è anche **L'EMETTITORE PERFETTO**

↓  
nessun altro corpo reale emette, alla stessa temperatura, più del corpo nero (a qualsiasi lunghezza d'onda)

## LEGGE DI STEFAN-BOLTZMANN

$$E_{c.n.}(T) = \sigma T^4$$

TEMPERATURA ASSOLUTA DEL CORPO

POTERE EMISSIVO TOTALE DEL CORPO NERO A TEMP.  $T$  [ $\frac{W}{m^2}$ ]

COSTANTE DI STEFAN-BOLTZMANN

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

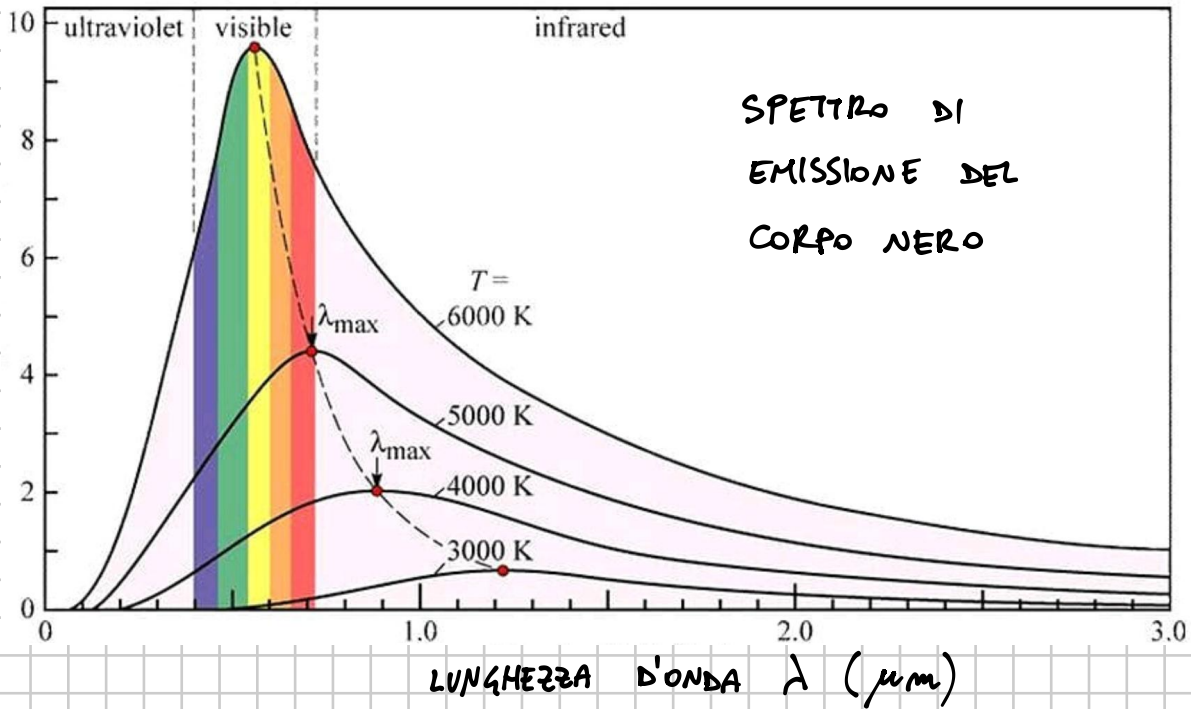
(PER TUTTE LE LUNGHEZZE D'ONDA)

Se, fissata la temperatura  $T$ , dall'energia totale si passa all'energia emessa dal corpo nero alle diverse lunghezze d'onda (SPETTRALE o MONOCROMATICA), decomponendo perciò la radiazione nel suo SPETTRO, si vede che la radiazione non è ugualmente distribuita alle diverse lunghezze d'onda: il POTERE EMISSIVO SPECIFICO (MONOCROMATICO) del corpo nero  $E_{c.n.,\lambda}$  dipende dunque dalla lunghezza d'onda oltre che dalla temperatura

$$E_{CN,\lambda}(T)$$

$$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot \mu m} \right]$$

(in figure  
unità  
arbitrarie)



Le aree sottese rappresentano valori diversi del POTERE EMISSIVO TOTALE:

$$E_{CN}(T) = \int_0^{+\infty} E_{CN,\lambda}(T) d\lambda = \sigma T^4$$

Il potere emissivo specifico del corpo nero ha un massimo in corrispondenza di una certa lunghezza d'onda, che si sposta verso lunghezze d'onda minori al crescere della temperatura.

LEGGE DI WIEN  $\Rightarrow \lambda_{MAX} \cdot T = \text{costante}$

EMISSIVITÀ DI UNA SUPERFICIE = rapporto tra la radiazione emessa dalla superficie e la radiazione emessa dal corpo nero alla stessa temperatura

POTERE EMISSIVO TOTALE DELLA SUPERFICIE REALE

$$\epsilon(T) = \frac{E(T)}{E_{CN}(T)} = \frac{E(T)}{\sigma T^4}$$

POTERE EMISSIVO SPECIFICO DELLA SUPERFICIE REALE

EMISSIVITÀ SPECIFICA

$$\epsilon_{\lambda}(T) = \frac{E_{\lambda}(T)}{E_{CN,\lambda}(T)}$$

$$0 \leq \epsilon \leq 1$$

$$0 \leq \epsilon_\lambda \leq 1$$

CORPO NERO  $\Rightarrow$

$$\epsilon = 1$$

$$\epsilon_\lambda = 1 \quad \forall \lambda$$

LEGGE DI STEFAN-BOLTZMANN

(CORPO DI EMISSIVITÀ  $\epsilon$ )

$$\Rightarrow E(T) = \epsilon \sigma T^4$$

$\downarrow$   
in realtà  
dipende da  $T$

Esiste un'importante relazione che lega due fenomeni apparentemente distinti, cioè l'EMISSIONE e l'ASSORBIMENTO

$$\alpha_\lambda(T) = \epsilon_\lambda(T)$$

LEGGE DI KIRCHHOFF

$\swarrow$   
COEFFICIENTE DI  
ASSORBIMENTO A  
UNA CERTA LUNGHEZZA  
D'ONDA

$\searrow$   
EMISSIVITÀ (SPECIFICA) ALLA  
STESSA LUNGHEZZA D'ONDA

(STESSA TEMPERATURA)

$$\alpha(T) = \epsilon(T)$$

COEFFICIENTE DI  
ASSORBIMENTO  
TOTALE

EMISSIVITÀ

Per un corpo nero si ha che  $\alpha_\lambda(T) = 1$ ,  $\alpha(T) = 1$  (perfetto assorbitore), dunque la legge di Kirchhoff può essere interpretata così:

$$\alpha_\lambda(T) = \frac{E_\lambda(T)}{E_{c\nu,\lambda}(T)} \Rightarrow \frac{E_\lambda(T)}{\alpha_\lambda(T)} = E_{c\nu,\lambda}(T)$$

il rapporto tra potere emissivo e potere assorbente a una certa lunghezza d'onda è sempre uguale al potere emissivo di un corpo nero a quella lunghezza d'onda e temperatura.

In altre parole, se conosciamo lo spettro di emissione del corpo nero, siamo in grado di risalire, tramite la legge di Kirchhoff, alle caratteristiche di assorbimento ed emissione di un qualsiasi altro oggetto.

Da qui l'enorme importanza concettuale del corpo nero e il motivo per cui fu dettagliatamente studiato negli ultimi 3 decenni del XIX secolo.

3 finché di fine '800 erano quindi convinti che lo studio dello spettro di emissione del corpo nero rappresentasse un modo per capire meglio l'INTERAZIONE RADIAZIONE-MATERIA.

Tuttavia, i tentativi di WIEN, LORD RAYLEIGH, JEANS non ebbero successo: ciò che non si riusciva a fare era COSTRUIRE UN MODELLO TEORICO DI INTERAZIONE RADIAZIONE-MATERIA DAL QUALE FOSSE DERIVABILE LO SPETTRO DI CORPO NERO, curva che era stata ottenuta eseguendo esperienze molto raffinate.

## LA LEGGE DI WIEN (1896)

Proposta da Wilhelm Wien, considerando la radiazione come un gas perfetto e applicando la statistica di Maxwell-Boltzmann:

$$E_{CN,\lambda}(T) = 2\pi hc^2 \cdot \frac{e^{-\frac{hc}{\lambda k_B T}}}{\lambda^5}$$

con  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$  COSTANTE DI BOLTZMANN

$h$  = costante da determinare

ACCORDO CON LA CURVA SPERIMENTALE  
SOLO PER BASSE LUNGHEZZE D'ONDA  
(E BASSE TEMPERATURE)

## LA LEGGE DI RAYLEIGH-JEANS

Proposta da Lord Rayleigh nel 1900 e perfezionata da James Jeans nel 1905 sulla base di considerazioni termodinamiche ed elettromagnetiche classiche

$$E_{CN,\lambda}(T) = 2\pi c k_B \frac{T}{\lambda^4}$$

ACCORDO CON LA CURVA SPERIMENTALE  
SOLO PER GRANDI LUNGHEZZE D'ONDA  
(E ALTE TEMPERATURE)

Per bassi valori di  $\lambda$ , la previsione di R-J diverge a causa del termine  $1/\lambda^4$ , divenendo paradossale: l'integrale della curva (che rappresenta l'energia emessa per unità di tempo e di superficie) sarebbe infinito e comporterebbe l'emissione infinita di luce ultravioletta (basse  $\lambda$ ) provocando la distruzione di ogni forma di vita biologica → CATASTROFE ULTRAVIOLETTA



