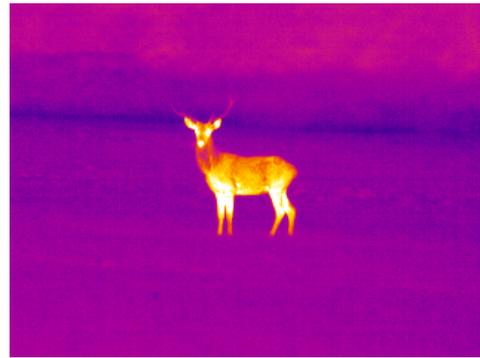
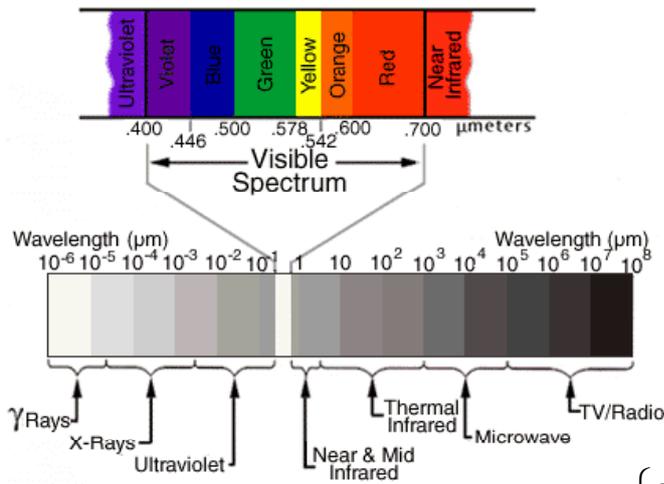


Irraggiamento

Irraggiamento: *Trasmissione dell'energia mediante onde elettromagnetiche.*



Infrarosso

Per lunghezze d'onda superiori a 0.72 μm

- da 0.72 a 1.5 μm **VICINO**
- da 1.5 a 5.6 μm **MEDIO**
- da 5.6 a 1000 μm **LONTANO**

Le onde elettromagnetiche hanno la stessa velocità, la velocità della luce $c = \lambda \nu$. $c = 2.998 \cdot 10^8$ m/s. λ è la lunghezza d'onda in metri. ν è la frequenza di oscillazione dell'onda.

Emissione di radiazione

Legge di Stefan-Boltzmann:

ogni corpo alla temperatura T emette una quantità di energia proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta.

$$Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 t$$

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

Quantità di energia trasmessa (red arrow pointing to Q)

emittanza $0 \div 1$ Adimensionale (blue arrow pointing to ϵ)

costante di Boltzmann (purple arrow pointing to σ)

Superficie del corpo (red arrow pointing to A)

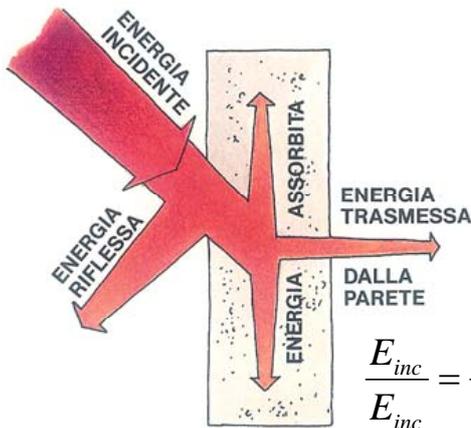
Temperatura del corpo (blue arrow pointing to T)

tempo (purple arrow pointing to t)

Legge di Kirchhoff:

Un corpo emette solo le radiazioni che riesce ad assorbire.

Corpo nero è un assorbitore ed emettitore perfetto $\equiv \epsilon = 1$



Per il principio di conservazione dell'energia:

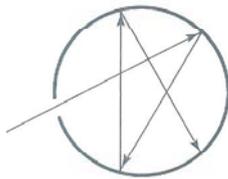
$$E_{inc} = E_{rifl} + E_{ass} + E_{trasm}$$

Pratico parlare per frazione di energia riflessa, assorbita e trasmessa.

$$\frac{E_{inc}}{E_{inc}} = \frac{E_{rifl}}{E_{inc}} + \frac{E_{ass}}{E_{inc}} + \frac{E_{trasm}}{E_{inc}} \quad \left(\frac{\cdot 1/t}{\cdot 1/t} \text{ vale anche per la potenza} \right)$$

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

Corpo nero come perfetto assorbitore



$$\alpha = 1$$

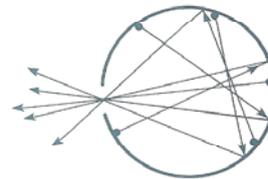
ingenerale

$$\alpha = \varepsilon$$

corpo nero

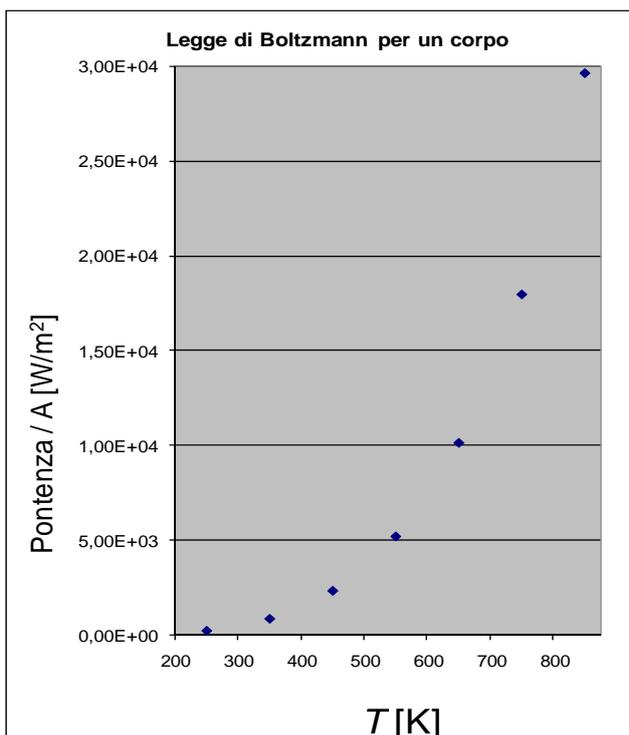
$$\alpha = \varepsilon = 1$$

Corpo nero come perfetto emettitore



$$\varepsilon = 1$$

L'emissione di radiazione di corpo nero



$$\frac{Q}{tA} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

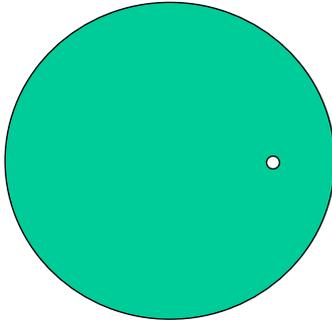
Si è detto che per calore si intende la potenza termica (Q/t) indicata anche come con \dot{Q} .

$$\frac{Q}{tA} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \stackrel{\varepsilon=1}{=} \sigma \cdot T^4$$

Andamento dell'energia emessa per unità di tempo e di superficie da un corpo nero ($\varepsilon=1$) in funzione di T

Radiazione di corpo nero.

La legge di Stefan-Boltzmann descrive tutta l'energia emessa, senza distinguere la lunghezza d'onda.

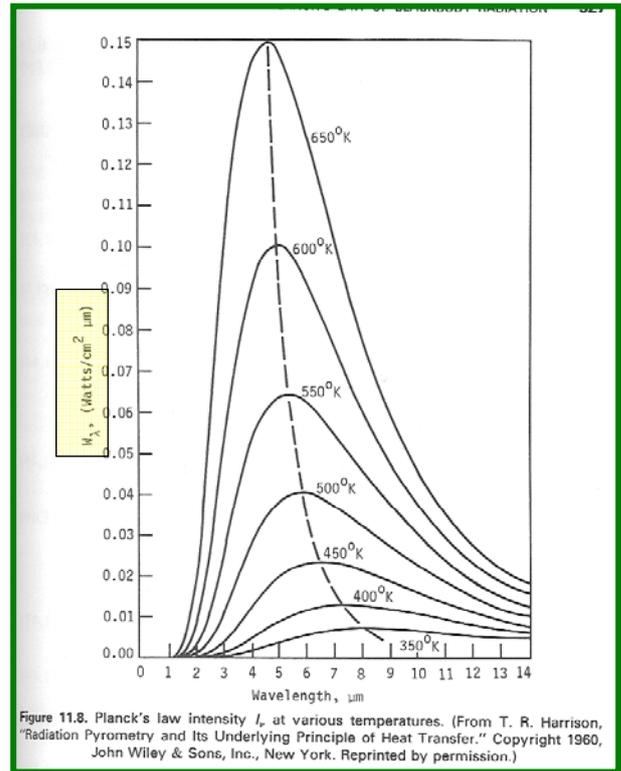


Spettrometro

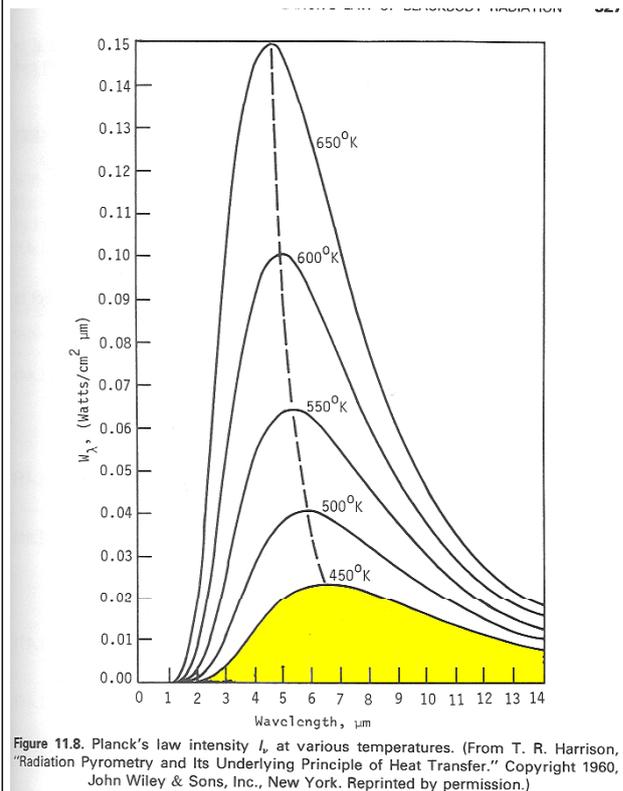
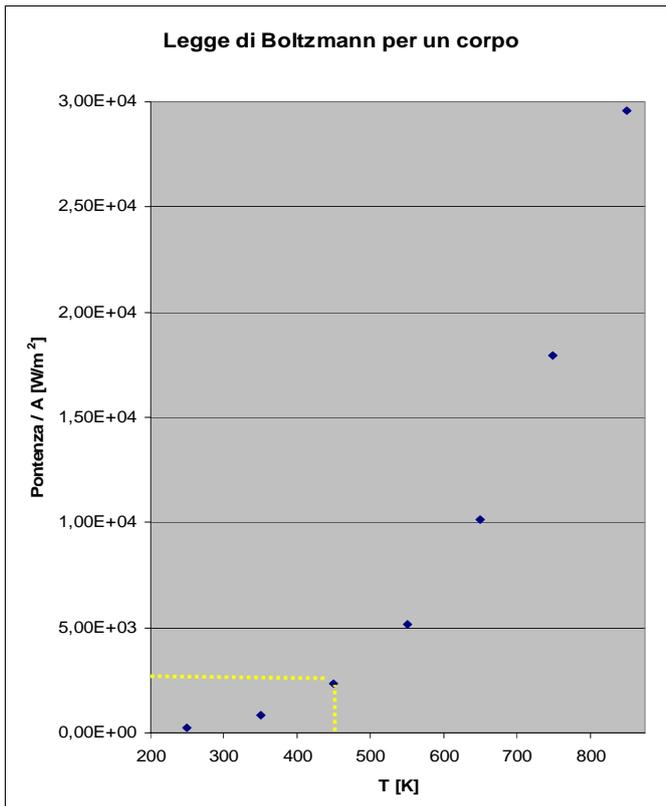
Corpo nero

Se si misura l'energia emessa per ogni lunghezza d'onda si ha lo spettro di emissione di corpo nero.

Ad ogni T si ha una curva diversa.



Radiazione di corpo nero.



Radiazione di corpo nero.

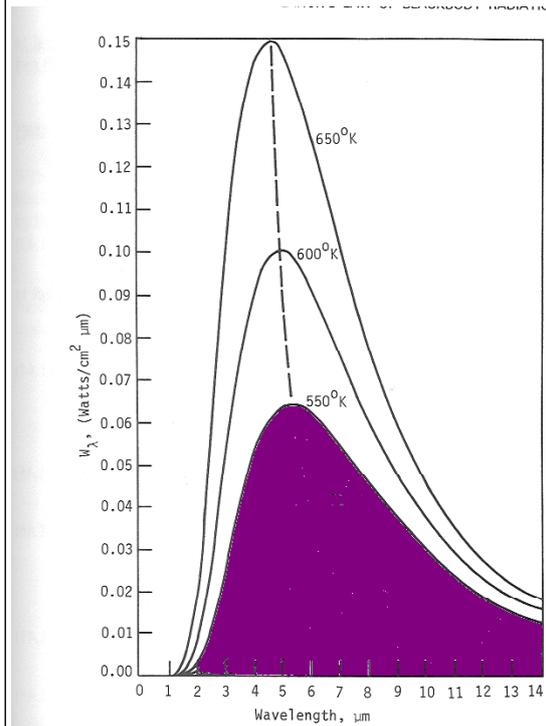
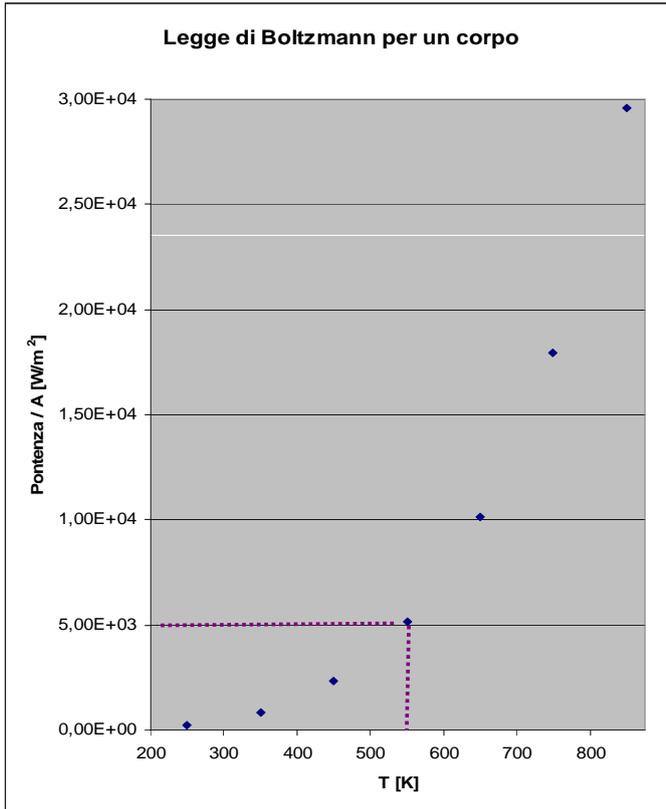


Figure 11.8. Planck's law intensity I_λ at various temperatures. (From T. R. Harrison, "Radiation Pyrometry and Its Underlying Principle of Heat Transfer." Copyright 1960, John Wiley & Sons, Inc., New York. Reprinted by permission.)

Radiazione di corpo nero in funzione di λ .

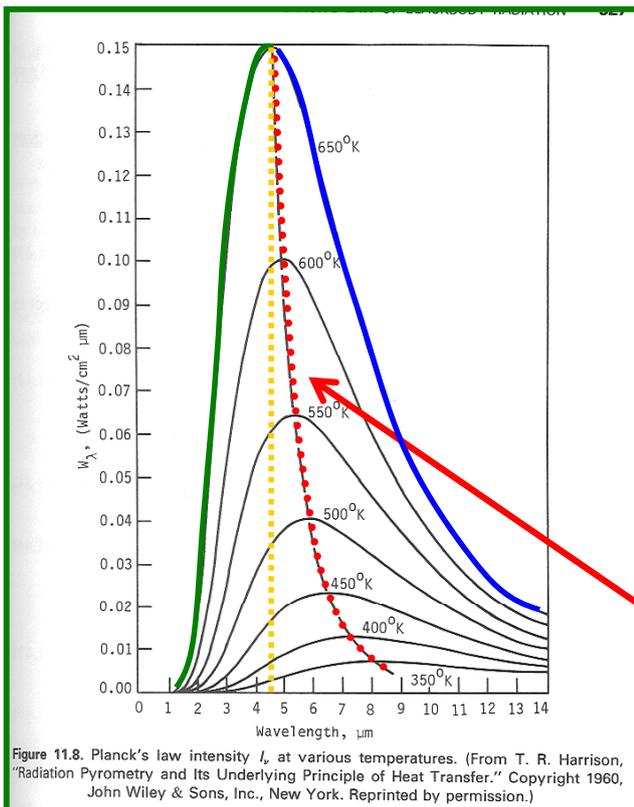


Figure 11.8. Planck's law intensity I_λ at various temperatures. (From T. R. Harrison, "Radiation Pyrometry and Its Underlying Principle of Heat Transfer." Copyright 1960, John Wiley & Sons, Inc., New York. Reprinted by permission.)

Legge di Planck: per descrivere la curva di $Q/At = f(\lambda)$ si deve assumere che le onde elettromagnetiche possono essere assorbite o emesse in modo discreto (quanti).

$$E = h\nu$$

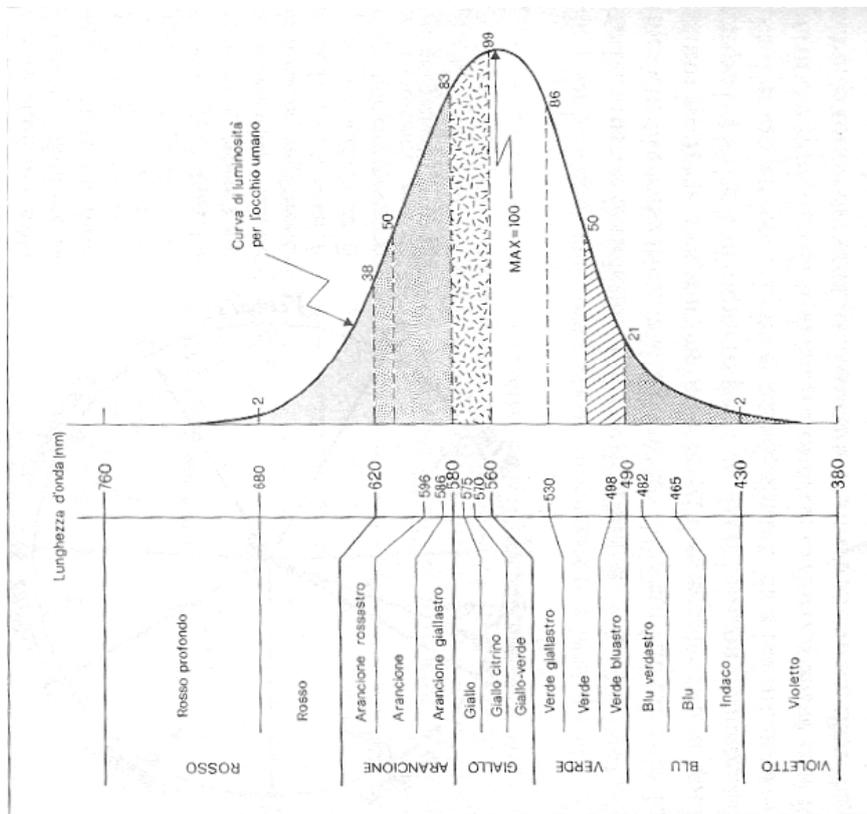
$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Legge di Wien dello spostamento.

Intensità rispetto a λ cresce fino a λ_{max} eppoi decresce.

λ_{max} varia come $1/T$

$$\lambda_{max} T = \text{costante} = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

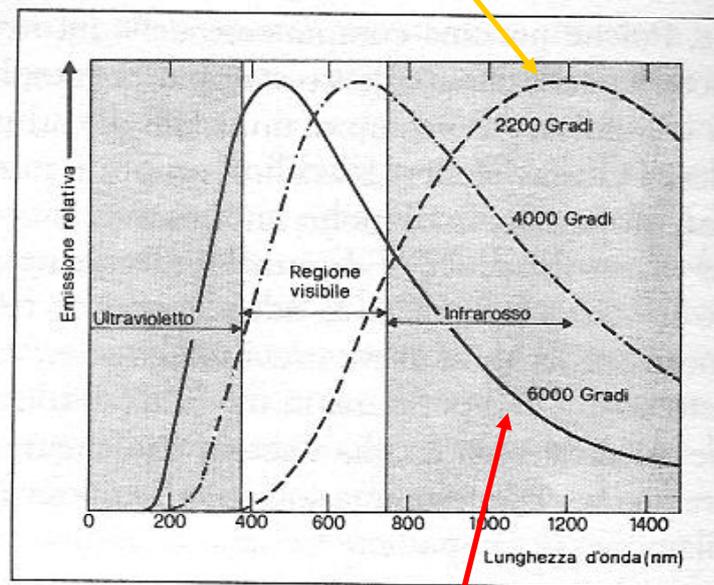


Rivelatore di onde elettromagnetiche (una finestra): l'occhio

T 2200 ÷ 2500 si ha lampade ad incandescenza :
 $\lambda_{\max} = 3.810 \div 1.150 \mu\text{m} = 3810 \div 1150 \text{ nm}$

Curve normalizzate
(vedi seguito).

Fig. 35. L'emissione di un corpo nero incandescente a 2.200 gradi (lampadina a filamento di tungsteno), a 4.000 gradi (lampada ad arco) e a 6.000 gradi (superficie del Sole). La luce emessa diventa sempre più bianca al crescere della temperatura perché contiene le varie componenti cromatiche del visibile in maniera più equilibrata.

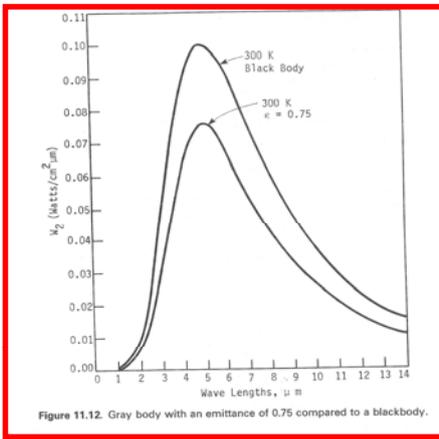


Un corpo a temperatura ambiente ~ 300 K :

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898}{300 \text{ K}} \cdot 10^{-3} \text{ m K} = 9.660 \mu\text{m} = 9660 \text{ nm}$$

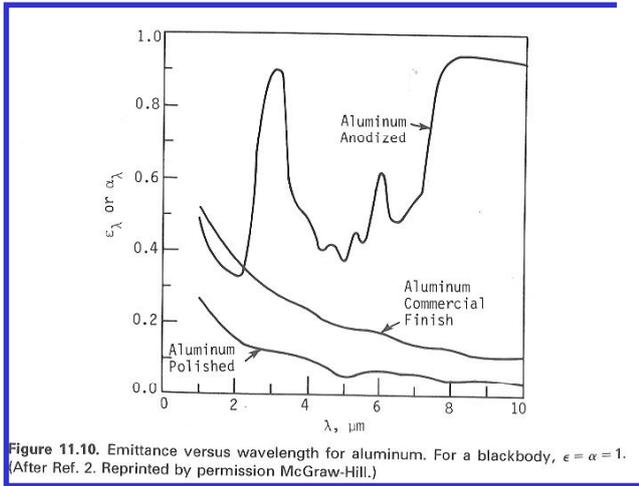
T 5800 K si ha (temperatura del sole)

$$\lambda_{\max} = 0.499 \mu\text{m} = 499 \text{ nm}$$



Emissività descrive quanto si avvicina un corpo al comportamento perfetto del corpo nero

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{E_{\lambda}(T)}{E_{\lambda}(T)_{cn}}$$



Emissanza è definita per un materiale reale, va misurata volta per volta, usare tabelle è poco opportuno.

emittanza- emissività? Tabelle

Material	Emissivity
Asphalt	0.93 to 0.95
Ceramics and brick	0.80 to 0.95
Cloth	0.95
Concrete	0.94 to 0.95
Glass	0.76 to 0.85
Metals, unoxidized	0.02 to 0.21
Painted surfaces	0.74 to 0.96
Paper	0.50 to 0.95
Rubber	0.95
Sand	0.90
Snow	0.82 to 0.89
Soil	0.90 to 0.98
Steel, iron, oxidized	0.65 to 0.95
Steel, stainless	0.10 to 0.80
Water	0.93
Wood	0.89 to 0.94

Come si nota dalla tabella si possono riportare degli intervalli

Un'occhiata a materiali di nostro interesse.

Tecniche diagnostiche in infrarosso

Riflettografia R/IR e Termovisione T/IR

Riflettografia R/IR: sfrutta le proprietà di trasparenza di alcuni pigmenti e leganti pittorici nel vicino infrarosso (0.7-2.5 μm).

Termovisione T/IR: sfrutta le proprietà di emissione di corpo nero dei materiali nel medio-lontano infrarosso.

Presentazione dei risultati sotto forma di immagini della grandezza osservata :

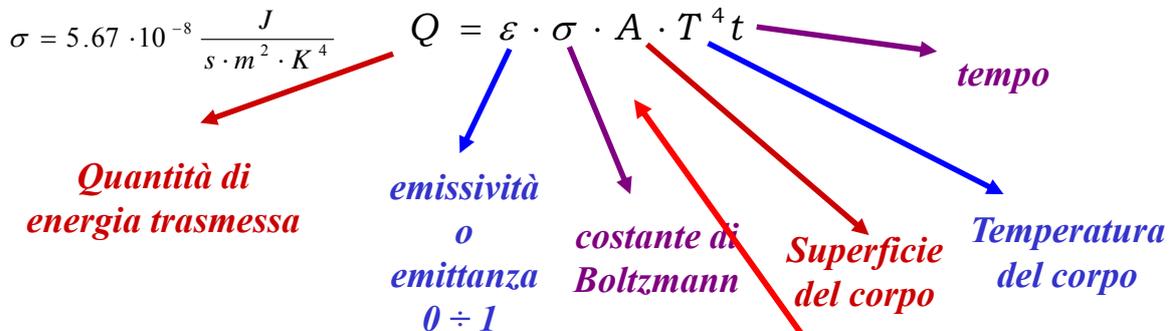
Riflettanza nel primo caso,

radianza nel secondo caso.

Diagnostica per immagini con relativi programmi di analisi.

La tecnica risulta possibile grazie alla **trasparenza atmosferica** e la disponibilità di dispositivi in grado di **rivelare la radiazione infrarossa** con una buona risoluzione spaziale.

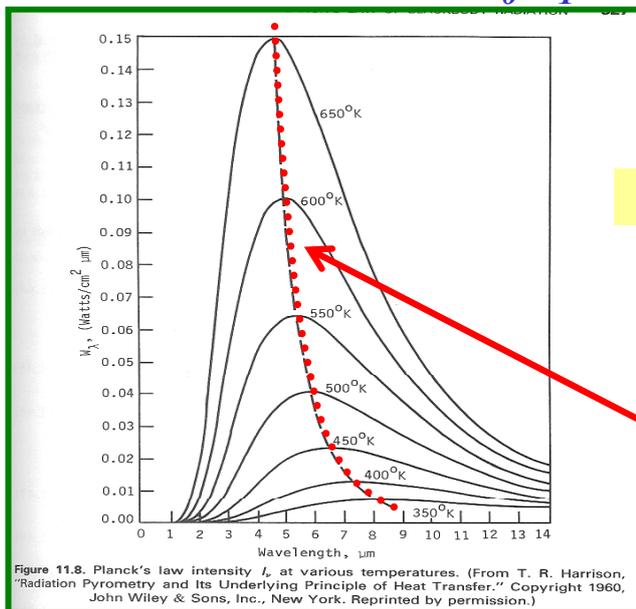
L'immagine infrarossa è in **scala di grigi**, in alcuni casi per una migliore lettura vengono presentate con una **scala di colori**, ma è puramente indicativo.



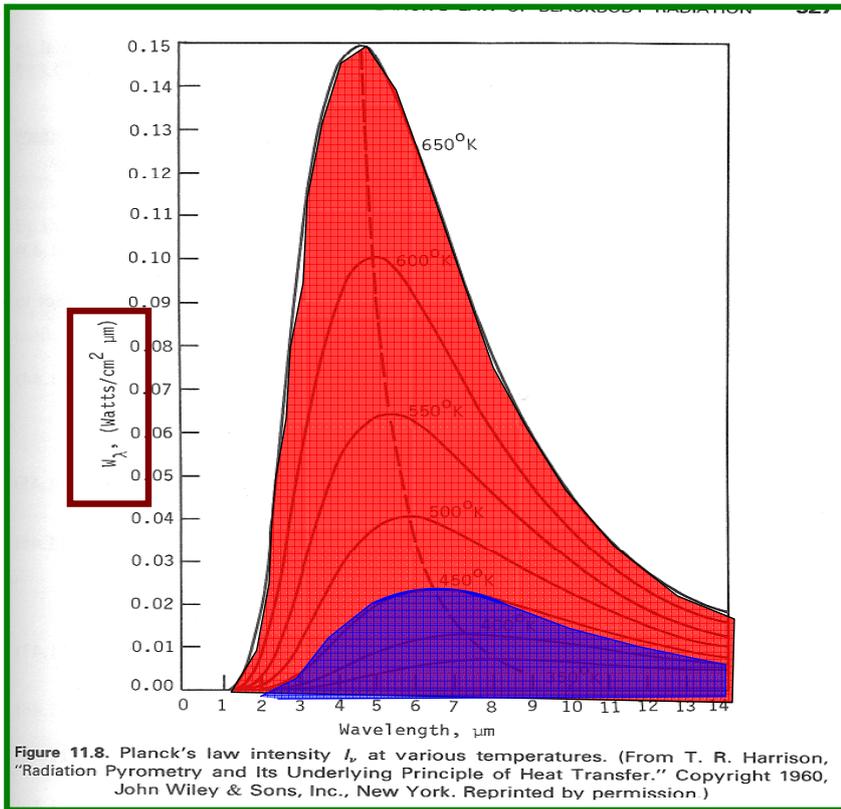
il fenomeno descritto dalla legge di Boltzmann

La Termovisione si basa su

E lo spettro della radiazione emessa (legge di Planck).



$$\lambda_{\max} T = \text{costante} = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$



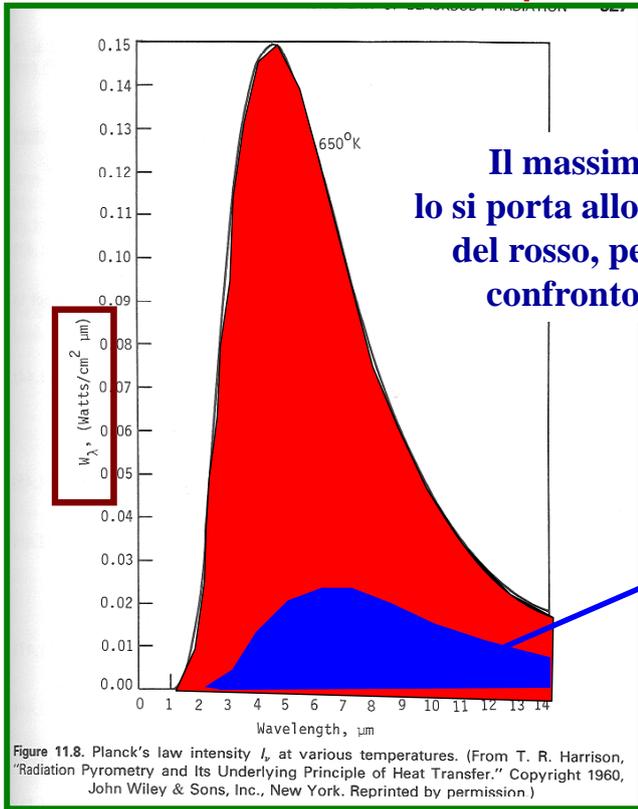
**La legge di Boltzmann
descrive tutta la
radiazione emessa**

$$\frac{Q}{A \cdot t} = \sigma \cdot T^4$$

**a 650 K
si ha la radianza in
rosso.**

**a 450 K
si ha minore radianza**

Spettri normalizzati



**Il massimo del blu
lo si porta allo stesso livello
del rosso, per vedere il
confronto con le λ .**

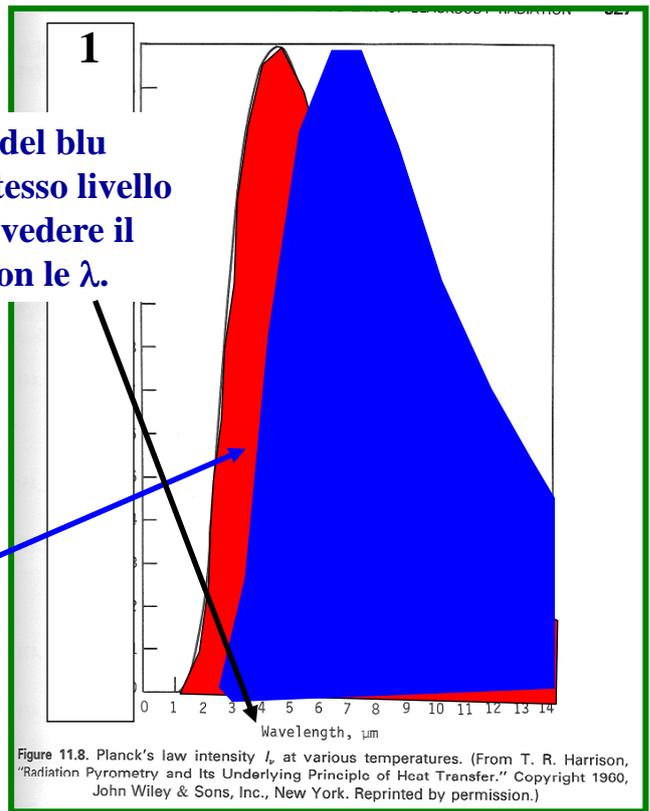
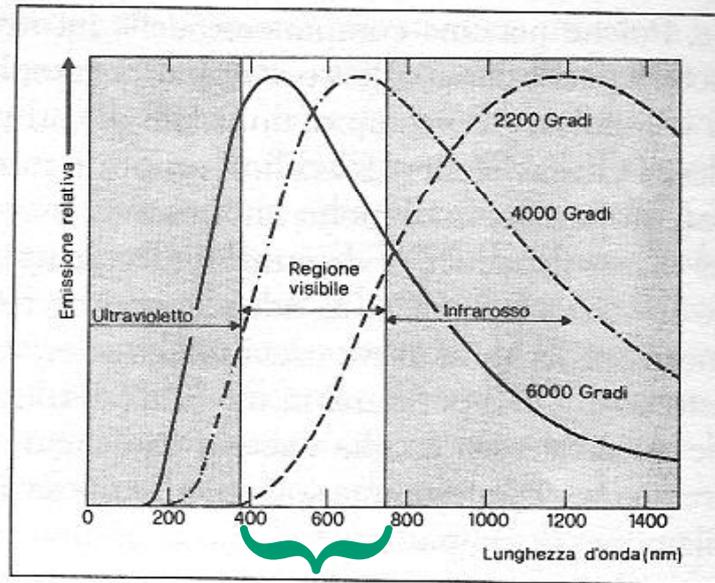


Fig. 35. L'emissione di un corpo nero incandescente a 2.200 gradi (lampadina a filamento di tungsteno), a 4.000 gradi (lampada ad arco) e a 6.000 gradi (superficie del Sole). La luce emessa diventa sempre più bianca al crescere della temperatura perché contiene le varie componenti cromatiche del visibile in maniera più equilibrata.

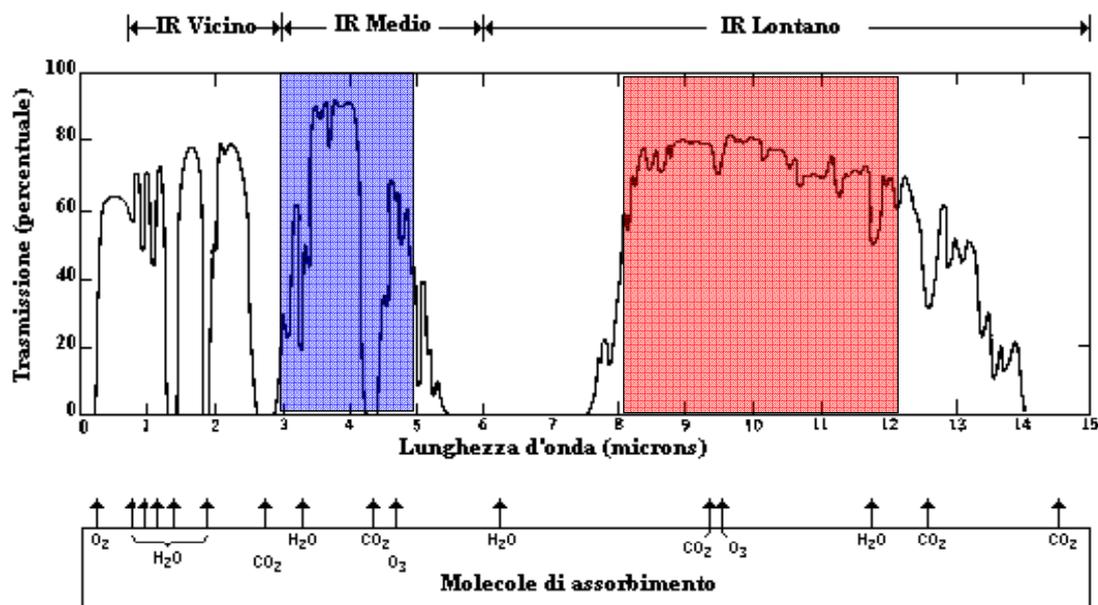


Con l'occhio noi vediamo una finestra di tutta la radiazione emessa dal sole.

I rivelatori nell'infrarosso possiamo considerarli come "occhi" sensibili in una finestra di radiazione IR.

Trasparenza dell'aria all'IR

La radiazione infrarossa sarà osservabile se viene trasmessa attraverso l'atmosfera (o equivalentemente se non viene assorbita dall'atmosfera).

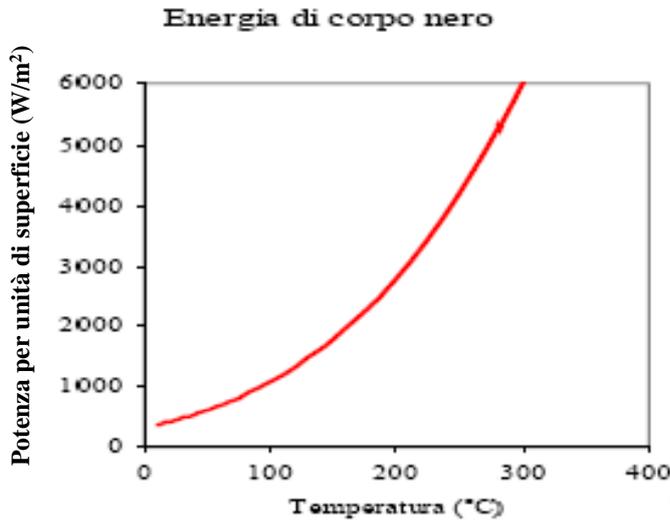


Vedremo termocamere *short wave* e *long wave*.

Termografia (specchietto riassuntivo)

La radiazione rilevata dalle termocamere viene “tradotta” in un valore di T .

Energia (radiazione- calore) che giunge da un corpo è proporzionale a T^4



$$\frac{\text{Potenza}}{\text{superficie}} = \frac{Q}{At} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

Per piccole variazioni di T
si hanno grandi variazioni
di Energia



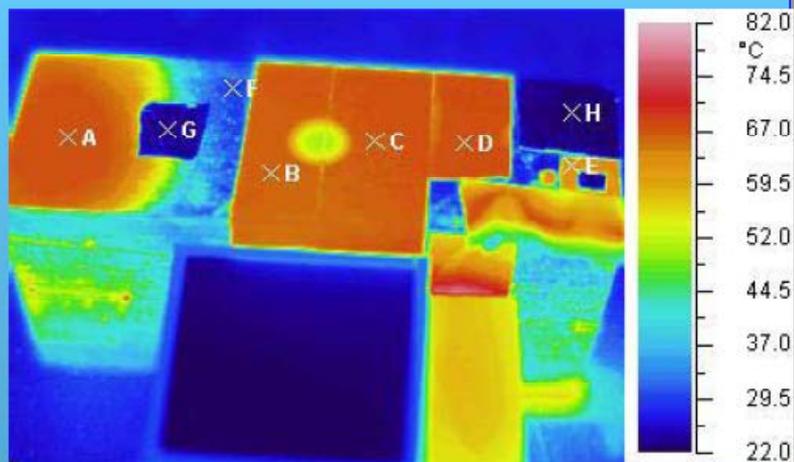
Elevata sensibilità
del metodo

Gli oggetti reali non emettono
come corpi neri per i quali $\varepsilon=1$.

Corpi reali: emittanza (link3)

Fonti esterne di radiazione possono influenzare la lettura di T .

Materiali con emissività differente



A	67,80 °C	E = 0,98
B	67,80 °C	E = 0,95
C	67,80 °C	E = 0,97
D	67,80 °C	E = 0,99
E	67,80 °C	E = 0,87
F	67,80 °C	E = 0,15
G	67,80 °C	E = 0,03
H	67,80 °C	E = 0,01

Errori apparenti dovuti
alla diversa emissività
dei materiali

Sistemi video termografici

Sistemi in grado di fornire un'immagine istantanea della radianza di oggetti opachi nell'infrarosso.

Nota l'emittanza spettrale dei materiali è possibile fornire una mappa di distribuzione di temperatura.

Sistema di diagnostica non invasiva e possibilità di monitoraggio esteso e continuo.

Rivelatore IR: convertitore di energia IR assorbita in segnale elettrico. Fotorivelatori e termorivelatori

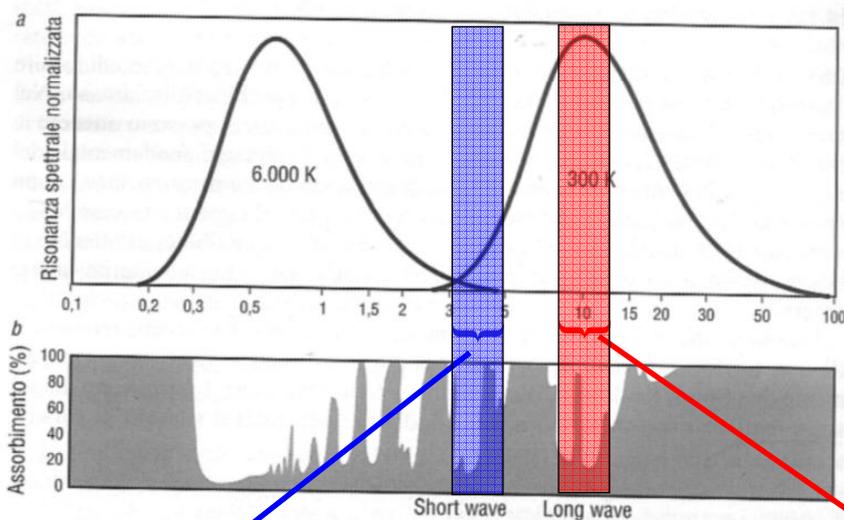
Fotorivelatori: materiali a semiconduttore in grado di convertire direttamente l'assorbimento di fotoni IR in segnale elettrico.

Per esempio semiconduttori, elettroni possono andare in banda di conduzione mediante fotoni di energia IR, e sono poi rilevati come segnale elettrico.

Termorivelatori: assorbimento di energia e misura di T dalla variazione di proprietà elettriche degli elementi sensibili: termocoppie, bolometri, pirometri.

Tali sistemi richiedono spesso il raffreddamento della parte sensibile.

Figura 14.2 Spettri normalizzati di due corpi neri assimilabili all'irraggiamento del sole (6000 K) e di un corpo a temperatura ambiente (300 K) (a). Bande di assorbimento dell'atmosfera terrestre. In ascissa la lunghezza d'onda in micrometri (b)



*Termocamere **short wave**, banda spettrale (3-5 μm) quantità di radiazione minima e si ha una sovrapposizione con l'irraggiamento solare nella medesima banda.*

*Termocamere **long wave**, banda spettrale (8-12 μm) sebbene meno sensibili lavorano in una banda spettrale dove la quantità di energia è maggiore e non c'è disturbo dalla radiazione solare.*

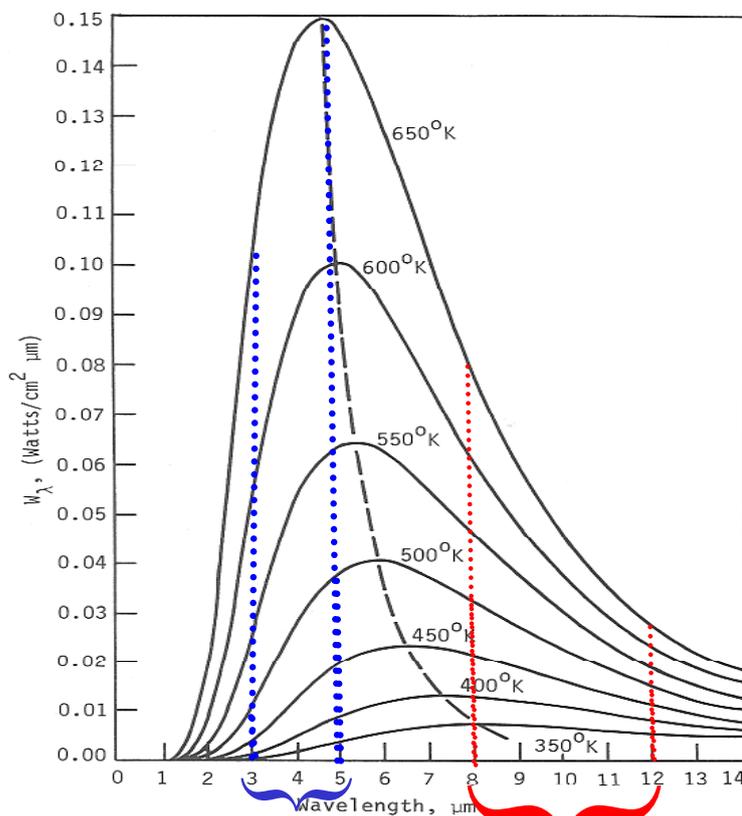


Figure 11.8. Planck's law intensity I_λ at various temperatures. (From T. R. Harrison, "Radiation Pyrometry and Its Underlying Principle of Heat Transfer." Copyright 1960, John Wiley & Sons, Inc., New York. Reprinted by permission.)

Sia con un rivelatore short wave, che con un rivelatore long wave un corpo più caldo emette più radiazione. Il rivelatore "lo vedrà" più "luminoso".

- *La radianza che interessa la termovisione sono onde elettromagnetiche nella regione dell'infrarosso detto appunto termico.*
- *Ripassiamo alcuni argomenti relativi alle onde elettromagnetiche dal punto di vista generale e soprattutto per*
- *la loro interazione con la materia.*

Onde elettromagnetiche

$c = \lambda \nu$ Le onde elettromagnetiche hanno la stessa velocità nel vuoto: la velocità della luce. $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Relazione tra energia e frequenza per ogni "colore"

(Planck - Einstein): $E = h\nu$

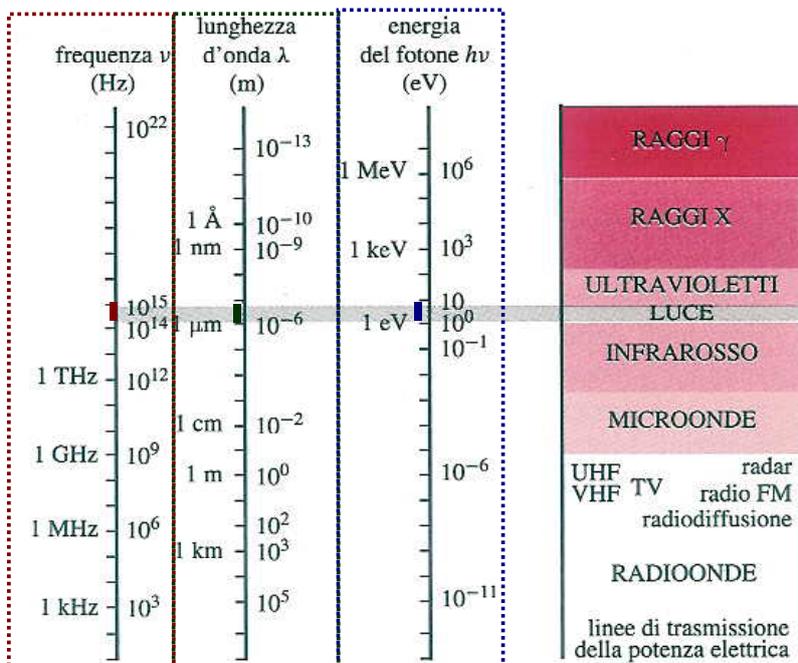
$$E = h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{(6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \cdot (2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{\lambda \text{ [m]}} = \frac{1.988 \cdot 10^{-25}}{\lambda \text{ [m]}} \text{ J} \cdot \text{m}$$

Un'altra unità di misura usata per l'energia: $1 \text{ eV} = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$,
Energia acquisita da un elettrone e^- su una ddp ΔV 1 Volt.

$$E = \frac{1.24 \cdot 10^{-6} [\text{eV} \cdot \text{m}]}{\lambda}$$

λ espresso in m.

$$\begin{cases} \bullet \frac{10^9 \text{ nm}}{\text{m}} = \frac{1240 [\text{eV nm}]}{\lambda}; \lambda \text{ espresso in nm} \\ \bullet \frac{10^6 \mu\text{m}}{\text{m}} = \frac{1.24 [\text{eV } \mu\text{m}]}{\lambda} \lambda \text{ espresso in } \mu\text{m} \end{cases}$$



La radiazione può essere presentata in vari modi.
Per la luce visibile avremo i seguenti intervalli in:

Frequenza ν

$\nu = 790 \div 395 \text{ THz}$

Lunghezza d'onda λ

$380 \div 760 \text{ nm}$

Energia $h\nu$

$3.26 \div 1.63 \text{ eV}$

Quantizzazione in fisica

Quanti di materia: unità di materia elettroni, protoni, neutroni.

Quanti di carica: carica elementare $1.60 \cdot 10^{-19}$ C

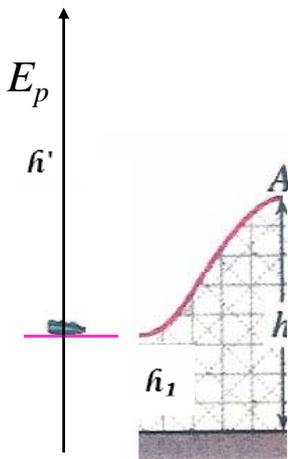
Quanti di luce: fotoni $h\nu$ ogni “colore” di onda e.m, ha la sua energia $E=h\nu$

Questo spiega l'emissione di corpo nero e l'effetto fotoelettrico.

La luce trasporta energia, e i fotoni hanno una quantità di energia precisa.

Anche l'energia risulta quantizzata.

Comprendere la quantizzazione



Come possiamo fornire energia?

Dal punto di vista classico, possiamo fornire energia in modo CONTINUO.

Possiamo sollevare di dh infinitesimale, la navicella ed abbiamo visto che significa fornire infinitesimi di energia dE

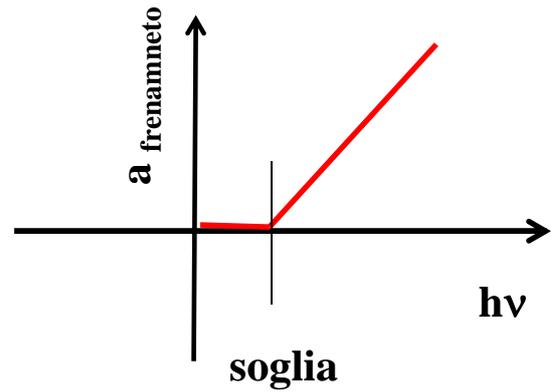
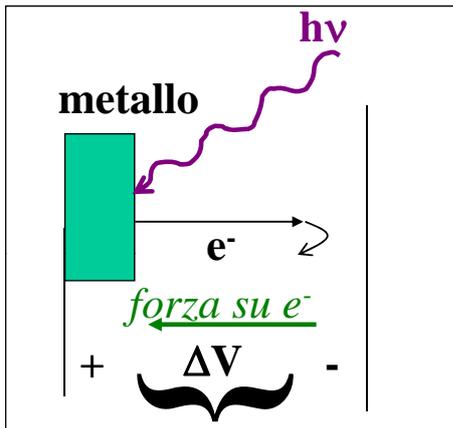
Se fornissi energia tale da superare la configurazione a quota h , cosa succederebbe?

Il corpo ha energia residua, $mg(h'-h)$. Che tipo di energia è?

$$mg(h'-h) = \frac{1}{2}mv^2$$

La quantizzazione dell'energia introdotta da Planck per spiegare la curva del corpo nero, permise ad Einstein di spiegare un effetto fin ad allora incomprensibile con la fisica classica.

Effetto fotoelettrico (fotocellule-ascensori)



Andando verso λ più piccole si ha necessità di frenare di più gli elettroni, ovvero gli e^- escono con maggiore energia.

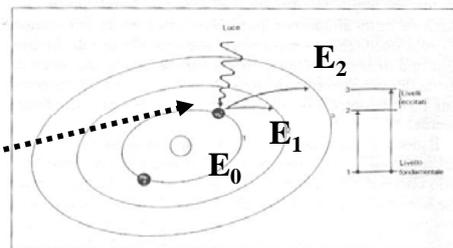
Aumentando l'intensità della radiazione, di stesso colore, aumentano il numero di elettroni emessi, ma l'energia con cui escono dipende dal colore λ o ν

La quantizzazione introdotta da Planck per spiegare la radiazione di corpo nero, spiega anche l'effetto fotoelettrico.

Interazione radiazione - materia

La radiazione quindi è costituita da tanti corpuscoli, quanti di luce (detti fotoni), la cui energia è fissata dalla loro lunghezza d'onda (o $\nu \equiv$ frequenza).

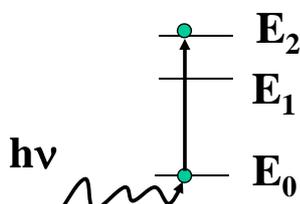
Questi corpuscoli interagiscono con gli elettroni presenti nella materia.



Nel caso di un atomo isolato gli elettroni hanno delle orbite fisse con una determinata energia

Assorbimento

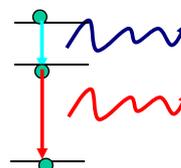
$$h\nu = E_2 - E_0$$



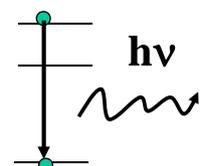
Emissione

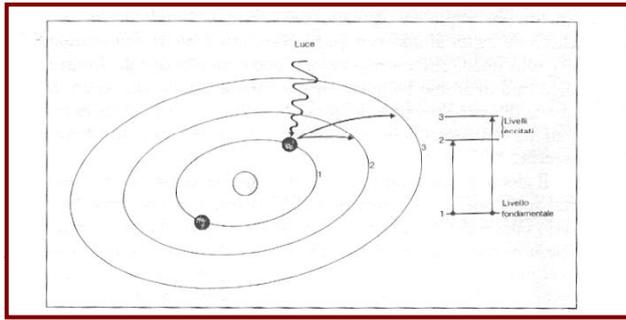
$$h\nu = E_2 - E_1$$

$$h\nu = E_1 - E_0$$

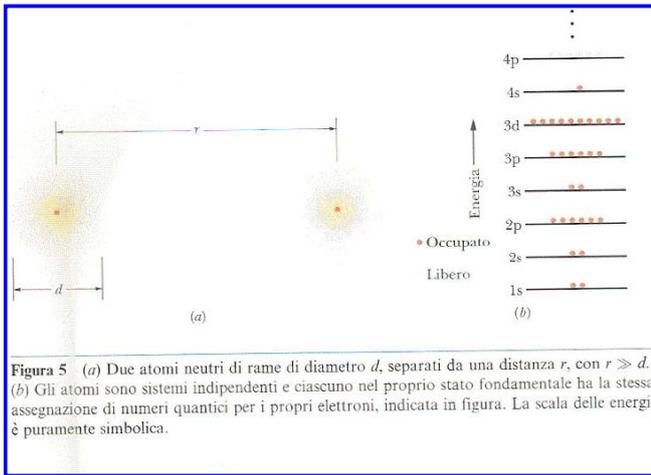


$$h\nu = E_2 - E_0$$

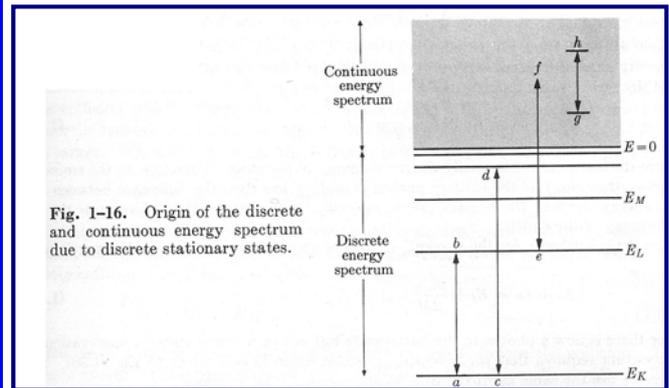




Schemino spaziale delle orbite di un atomo

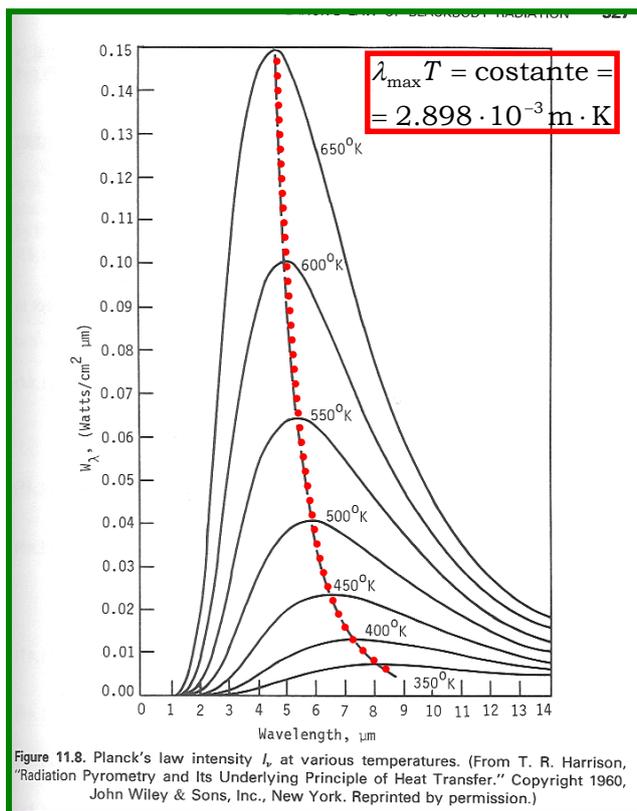


Schema energetico di un atomo.

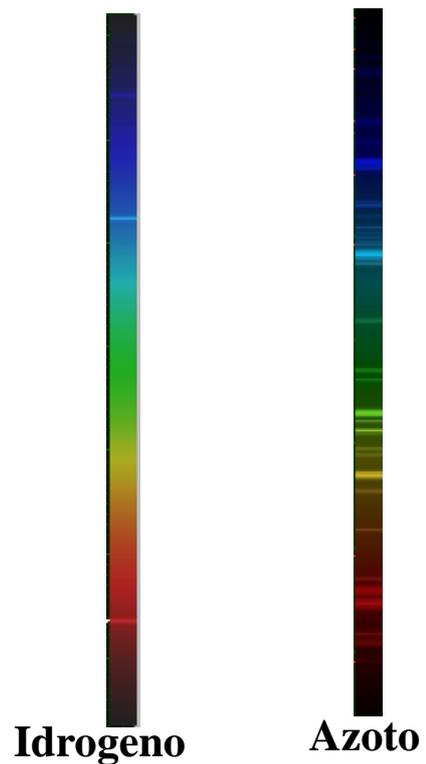


Casi estremi: corpo nero e gas

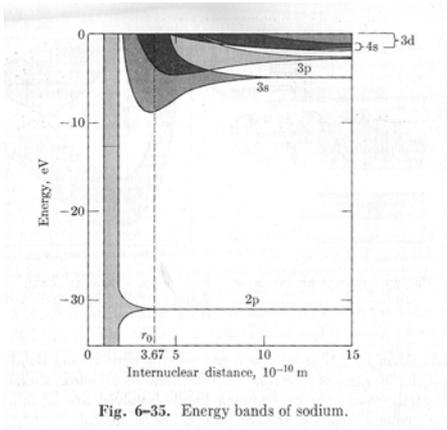
Spettro continuo per il corpo nero



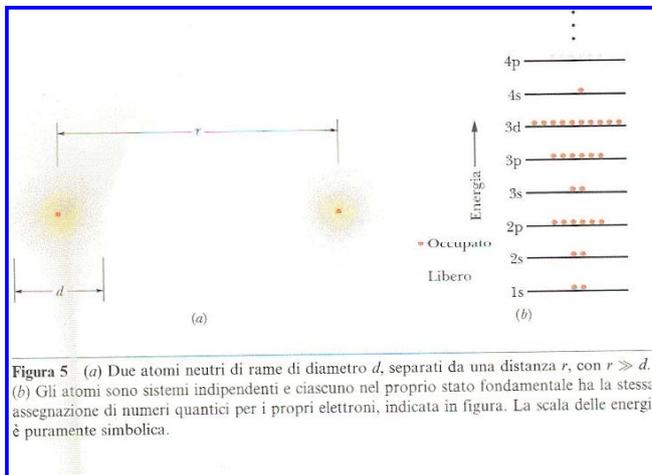
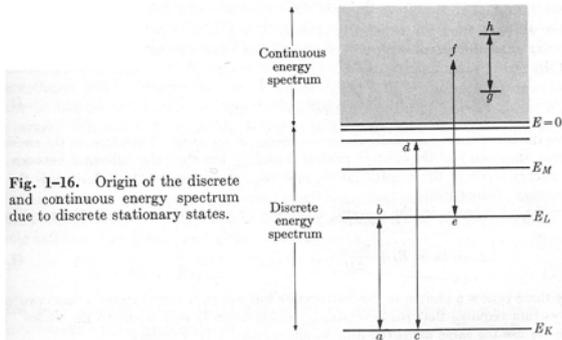
Spettro a righe per i gas.



Casi estremi: corpo nero e gas.

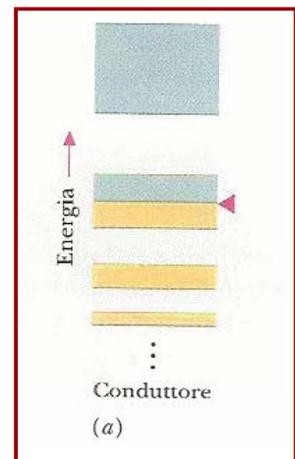
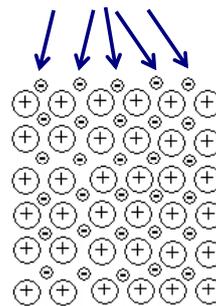


Aggiungendo atomi per formare un reticolo si ha che i livelli energetici degli atomi si allargano. Si può avere anche sovrapposizione.



I metalli

Elettroni mobili



Partiamo dai singoli atomi di rame.

Nell'orbitale più esterno hanno un solo elettrone.

Nella stato solido i metalli formano una struttura ordinata di atomi che condividono gli elettroni più esterni (gli elettroni possono muoversi liberamente su tutta la struttura). Questo spiega perché conducono facilmente il calore e la corrente elettrica. Inoltre gli elettroni possono assorbire fotoni ed aumentare così la mobilità nel reticolo (energia cinetica).

Con un grafico nel quale indichiamo sulla verticale l'energia possiamo rappresentare un metallo, Con una banda di energia mezza piena, che ha la possibilità di assorbire energia o cederla facilmente.cinetica).

Nei metalli l'elettrone assorbe un fotone e si trova su un livello di energia maggiore. Poi ritorna nel suo stato di equilibrio riemettendo un fotone.

Come se non fosse successo nulla

Ecco perché i metalli presentano un aspetto lucido. Se la superficie è liscia riemette anche nella stessa direzione di provenienza (specularità).

Ma perché i metalli hanno colori diversi?

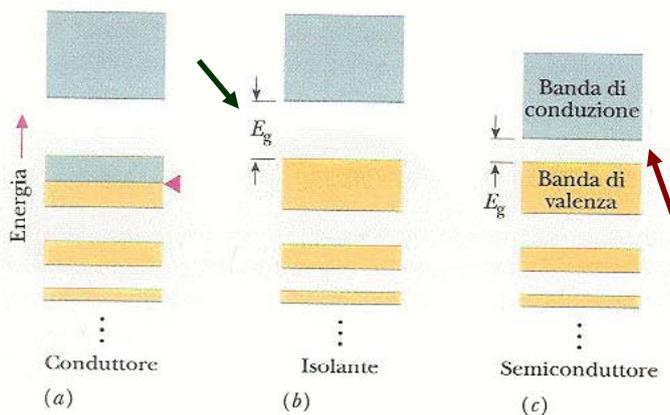
I meccanismi di assorbimento e riemissione non sono assolutamente identici.

L'oro assorbe luce bianca e riemette nel giallo-rosso, la luce è impoverita di verde e blu.

Nel rame il fenomeno è più accentuato.

Argento, platino ed alluminio riemettono per il visibile come assorbono.

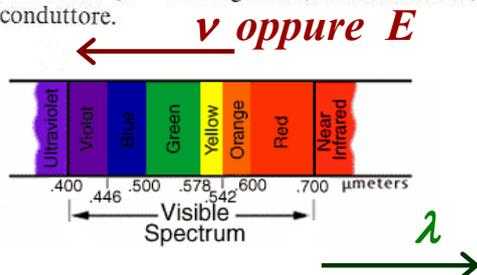
Dallo spettro di righe allo spettro di bande.



Gli isolanti presentano una soglia di energia (E_g), se la luce (fotoni) che non supera questa soglia non si ha assorbimento.

I semiconduttori hanno una soglia bassa nella regione dell'infrarosso, assorbono luce visibile e si possono confondere alla vista con dei metalli.

Figura 7 Una rappresentazione idealizzata delle bande energetiche per (a) un conduttore, (b) un isolante e (c) un semiconduttore. Le bande complete sono colorate di giallo, mentre le bande vuote sono in grigio. Il triangolino rosa indica il livello di Fermi per il conduttore.



Un materiale con soglia sulle frequenze del visibile, se illuminato da luce presenterà un colore complementare ai "colori" assorbiti (idiocromatici). Per esempio un materiale con soglia a 550 nm, le componenti non assorbite saranno rosse e gialle, pertanto il materiale assume colore arancione.

Assorbimento della radiazione visibile e colore

Nel caso di soglia di assorbimento nell'UV 400 nm :

380 - 436 nm: viola

436 - 495 nm: blu

495 - 566 nm: verde

566 - 589 nm: giallo

589 - 627 nm: arancio

627 - 780 nm: rosso

i materiali sono trasparenti al visibile.

Vetro, quarzo, diamante. Plexiglas e cellophan. Lenti di plastica.

Il vetro ha una soglia a 350 nm, protezione dagli UV.

Mescolando a questi materiali opportune sostanze se ne modifica l'assorbimento, si ottengono altre colorazioni:

colorazione allocromatica.

Quarzo costituito da SiO_2 . Assorbimento da 190 nm, sia in forma cristallina che amorfa.

Introducendo impurezze o per la presenza di anomalie nella struttura cristallina si hanno varie colorazioni.

Corindone (Al_2O_3) è trasparente, il rubino (Al_2O_3 con impurezze di cromo) presenta un colore rosso vivo. Gli atomi di cromo inducono assorbimento nella regione del verde, e quindi si ha colore rosso quando il materiale è illuminato da luce bianca.

I pigmenti colorati fanno uso di metalli di transizione, che non avendo tutti gli orbitali interni saturi di elettroni, presentano bande di assorbimento nel visibile. Cromato di Piombo (giallo di cromo), ossido di cromo (verde di cromo), granati (rossi per il ferro).

I materiali in trasparenza assumo il colore delle componenti luminose non assorbite, colore di volume.

I metalli assorbono e restituiscono la luce visibile (specularità).

La maggior parte dei materiali sono opachi, non riusciamo a vedere attraverso essi (colore di superficie),

La luce nei materiali è influenzata in 3 modi: riflessione, diffusione ed assorbimento.

Per la riflessione la luce incidente su una superficie perfetta viene riflessa in modo speculare e l'oggetto ha un aspetto lucido.

Su una superficie granulosa la luce viene diffusa in tutte le direzioni, l'oggetto ha un aspetto opaco. Il resto della luce penetra nel materiale. Se è omogeneo le componenti non assorbite emergono dall'altra parte mantenendo la direzione di arrivo (trasparenza).

Se è costituito da granuli allora la luce diffonde in varie direzioni.

Se non viene assorbita allora si ha colore bianco. Altrimenti si osserva il colore complementare alle componenti assorbite.

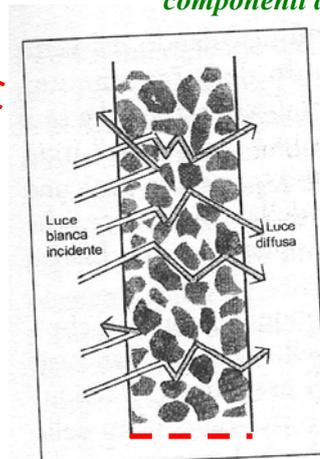


Fig. 46. Un materiale granuloso non trasmette la luce in linea retta, ma la diffonde in tutte le direzioni. Se i grani del materiale sono trasparenti a tutte le componenti del visibile, la luce diffusa è ancora bianca (neve, gesso, ecc.). Se invece i grani assorbono certe lunghezze d'onda, la luce diffusa, e con essa la colorazione del materiale, è complementare alla luce che viene assorbita. Questo è il caso dei materiali opachi colorati.



Dettaglio sull'energia ad altre lunghezze d'onda

Per molecole di gas in condizioni ideali:

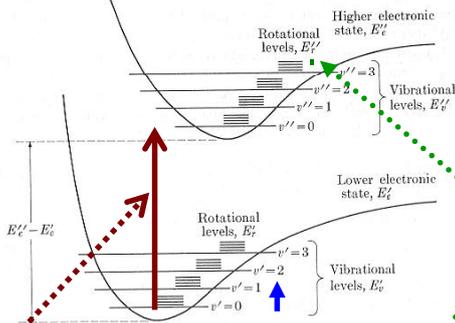
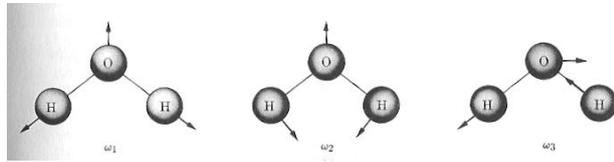


Fig. 5-39. Vibrational and rotational energy levels associated with two electronic states.



Transizioni elettroniche
livelli elettronici

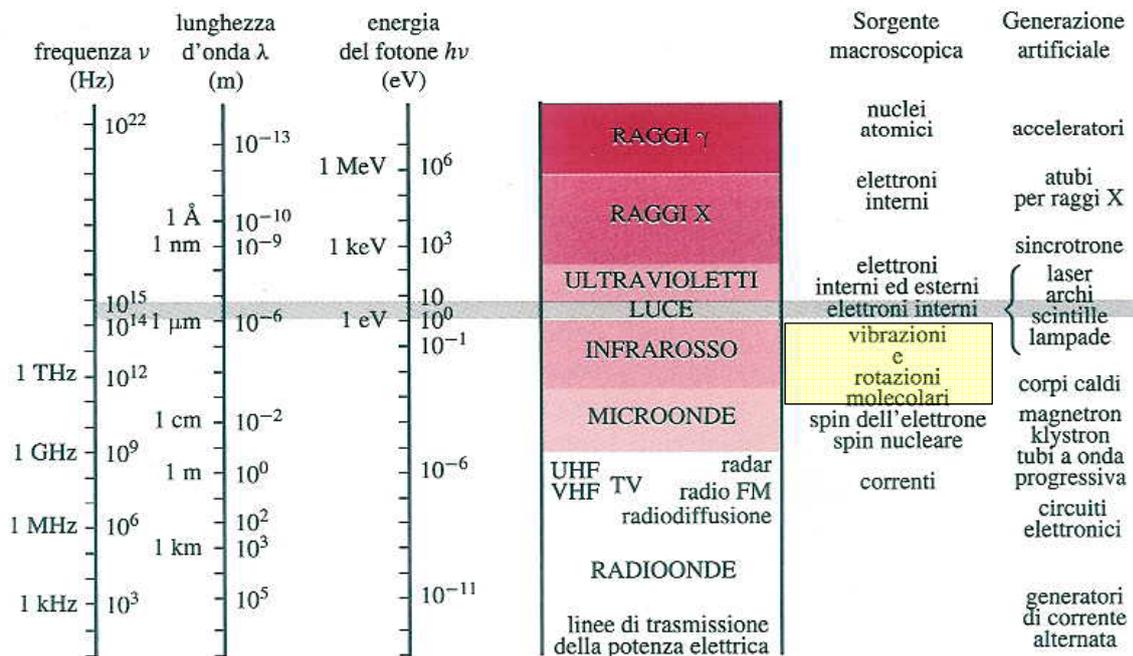
Transizioni vibrazionali o
livelli vibrazionali

Transizioni rotazionali o
livelli rotazionali

Per fluidi e solidi anche i livelli vibrazionali e rotazionali si sovrappongono, si hanno così le bande.

Questo spiegherebbe lo spettro di emissione continuo di un solido nel caso di energia vibrazionale (calore).

Onde elettromagnetiche, sorgenti e fenomeni correlati.



Spettro di assorbimento dei gas costituenti l'aria.

➤ Thermal IR region

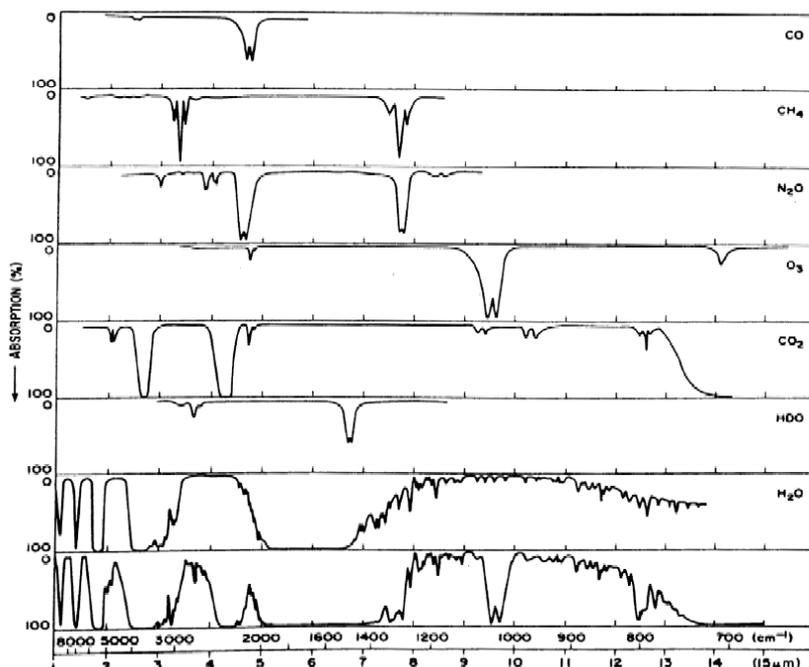
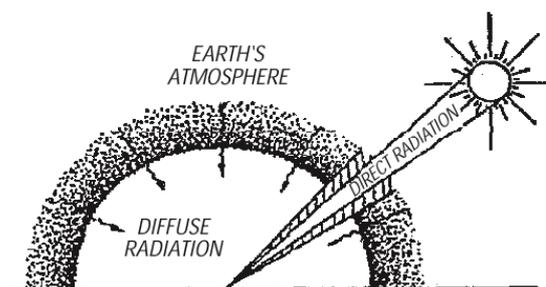
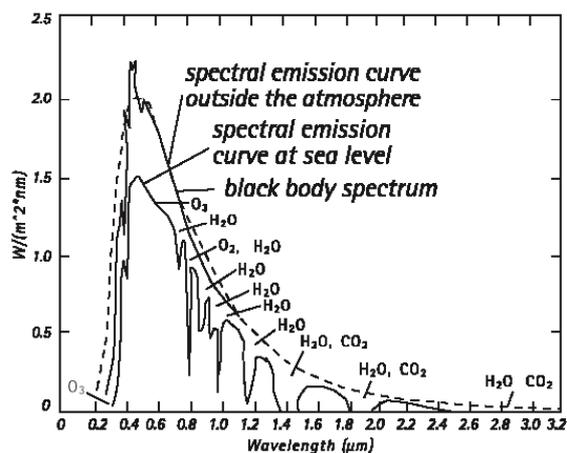
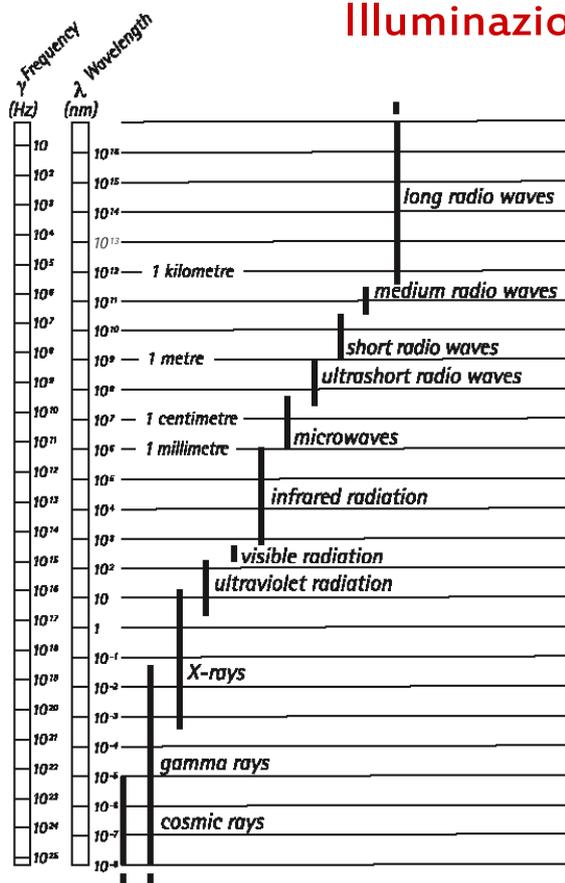


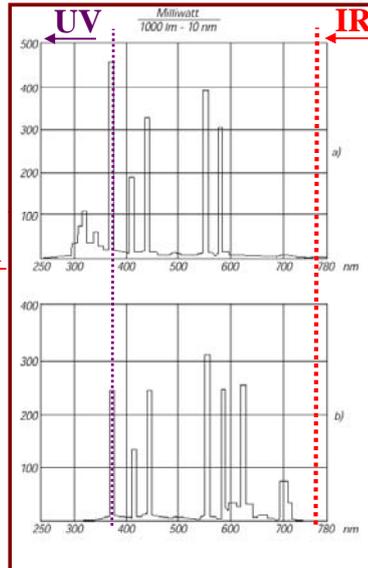
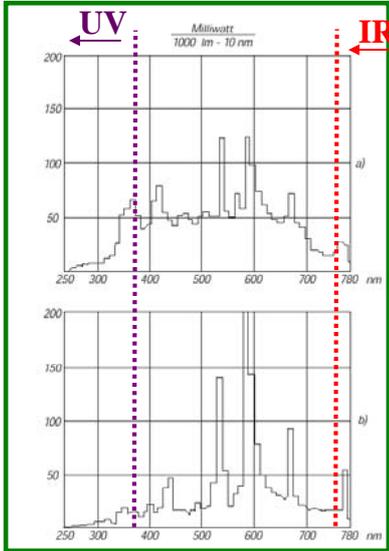
figure 7.3 Low-resolution IR absorption spectra of the major atmospheric gases.

Illuminazione ed onde em

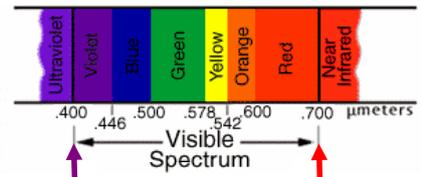


Tipi di lampade e loro spettri, evitare l'infrarosso che scalda.

**Incandescenza
Alogene**



Tubi a scarica



380 nm
760 nm
**Scarica vapori
di sodio
a bassa pressione**

