

Fisica tecnica

Prof. Ing. Cesare Boffa Ph.D.
Ing. Gianluca Toso

Politecnico di Torino

Argomenti del corso

Elementi di:

- illuminotecnica
- acustica architettonica
- termofisica dell'edificio
- termodinamica
- trattamento dell'aria umida (impianti di condizionamento)

Obiettivi del corso

Fornire gli elementi di base necessari per

- Impostare progetti preliminari
- Elaborare dimensionamenti di massima
- Fornire risposte concrete su problemi reali che si presentano ad un ingegnere

Modalità d'esame

Prova scritta con domande di “teoria” ed esercizi

Possono accedere all'esame coloro che avranno presentato le tre esercitazioni previste di:

- illuminotecnica;
- acustica;
- trasmissione del calore.

Esercitazioni

□ **Illuminotecnica:**

Progetto di massima dell'impianto di illuminazione artificiale di una strada

□ **Acustica:**

Progetto acustica di massima di una sala per conferenze

□ **Trasmissione del calore:**

Calcolo dei consumi energetici di un edificio e dimensionamento di massima dell'impianto di riscaldamento

Testi di consultazione:

- A.S.H.R.A.E. - Handbooks
- I.E.S. Illuminating Engineering Society - Handbook
- HVAC Acoustic Fundamentals Application Guide AG 31-010
McQuay
- C. Boffa, P. Gregorio: Elementi di Fisica tecnica - estratto dal
I° volume - Il volume – Edizione Levrotto & Bella
- A.Mazza: Esercizi di Fisica Tecnica – Edizione Levrotto &
Bella

**Il materiale proiettato in aula si trova sul portale della
Didattica**

Elementi di illuminotecnica

INDICE

Elementi di illuminotecnica

Illuminazione naturale

Illuminazione artificiale

Sensazioni luminose e benessere visivo

Illuminazione naturale

Caratterizzazione della radiazione solare

Come sorgente luminosa
[illuminazione naturale degli edifici]

Come sorgente energetica

- Controllo ed utilizzo della radiazione solare attraverso l'involucro degli edifici (interazioni tra radiazione solare e superfici opache (pareti) e trasparenti (vetri))
- Effetto serra
- Calcolo della costante solare

illuminazione artificiale

Sorgenti artificiali

Tipi di lampade

A incandescenza

A incandescenza con alogeni

A scarica nei gas

A led

ecc.

illuminazione artificiale

Caratteristiche delle sorgenti

Flusso luminoso

Efficienza luminosa

Temperatura di colore

Resa cromatica

Durata

Costi

Illuminazione artificiale

Apparecchi illuminanti

- Solido ed indicatrice fotometrica
- Rendimento luminoso

Illuminazione artificiale per esterni

- strade, piazze
- architettonico

Calcolo dell'illuminamento artificiale per esterni

illuminazione artificiale

illuminazione artificiale di interni

- generale
 - localizzata
- ecc.

illuminazione artificiale per interni

Metodi di calcolo dell'illuminamento artificiale per interni

- Ipotesi di illuminamento uniforme

illuminazione artificiale

Scelta delle sorgenti luminose

Valutazioni economiche

Sensazioni luminose e benessere visivo

Sensibilità dell'occhio

Sistema fotometrico e sistema energetico

- flusso luminoso
- intensità luminosa
- densità luminosa o di flusso o illuminamento
- radiazione o luminanza

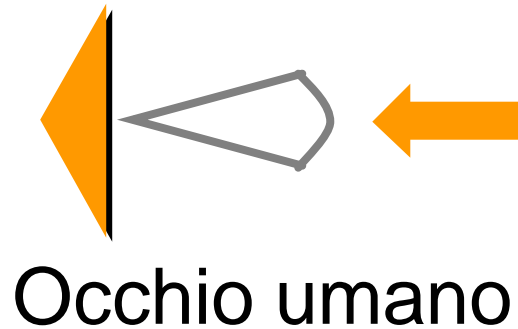
Caratteristiche dei colori (triangolo dei colori)

Caratterizzazione della radiazione solare

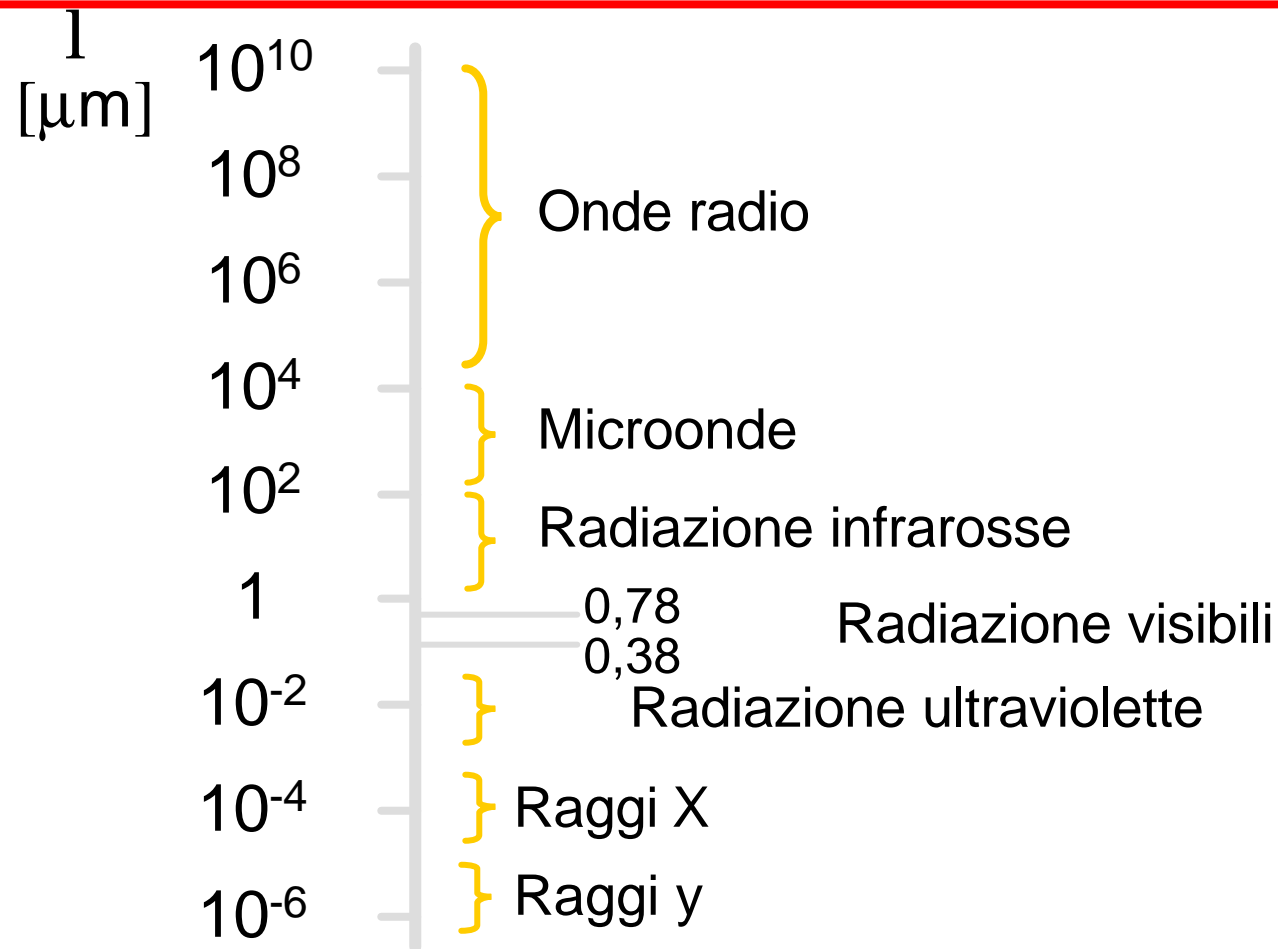
Caratterizzazione della radiazione solare

Sensazioni
luminose


Cervello



Radiazioni
elettromagnetiche
 $\lambda [0,38 \div 0,78 \mu\text{m}]$



Denominazioni delle radiazioni elettromagnetiche in funzione della lunghezza d'onda λ

Unità di misura delle lunghezze d'onda più usate

Micron [μm] pari a 10^{-6} m

Ångström [Å] pari a 10^{-10} m

Frequenza ν [Hertz]=[s⁻¹]

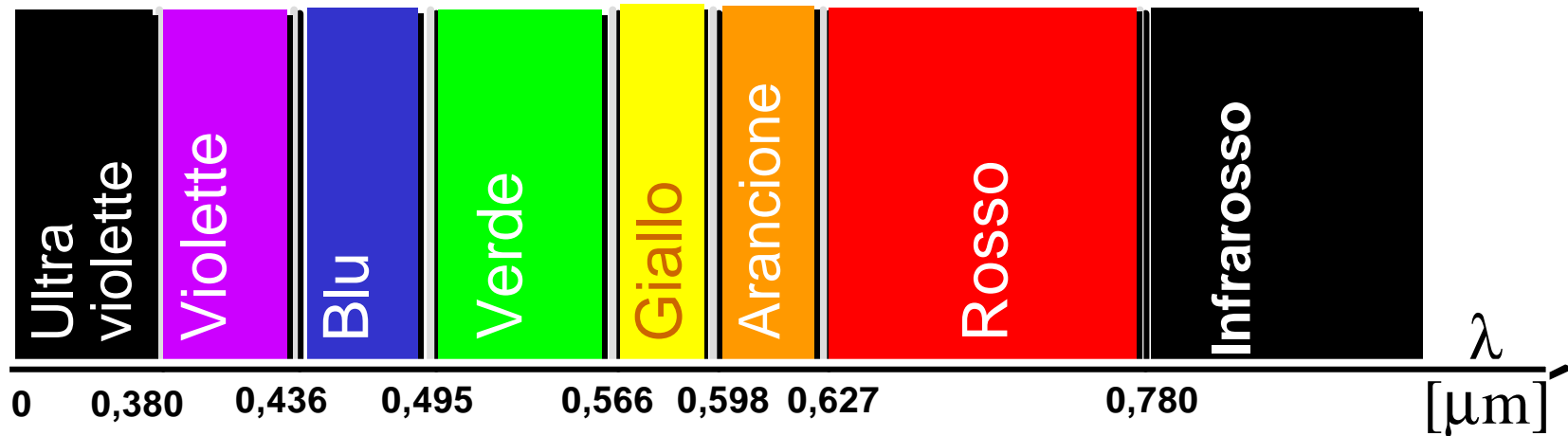
c velocità di propagazione della radiazione nel mezzo

c_0 velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica nel vuoto $\cong 2,995 \cdot 10^8$ [m/s]

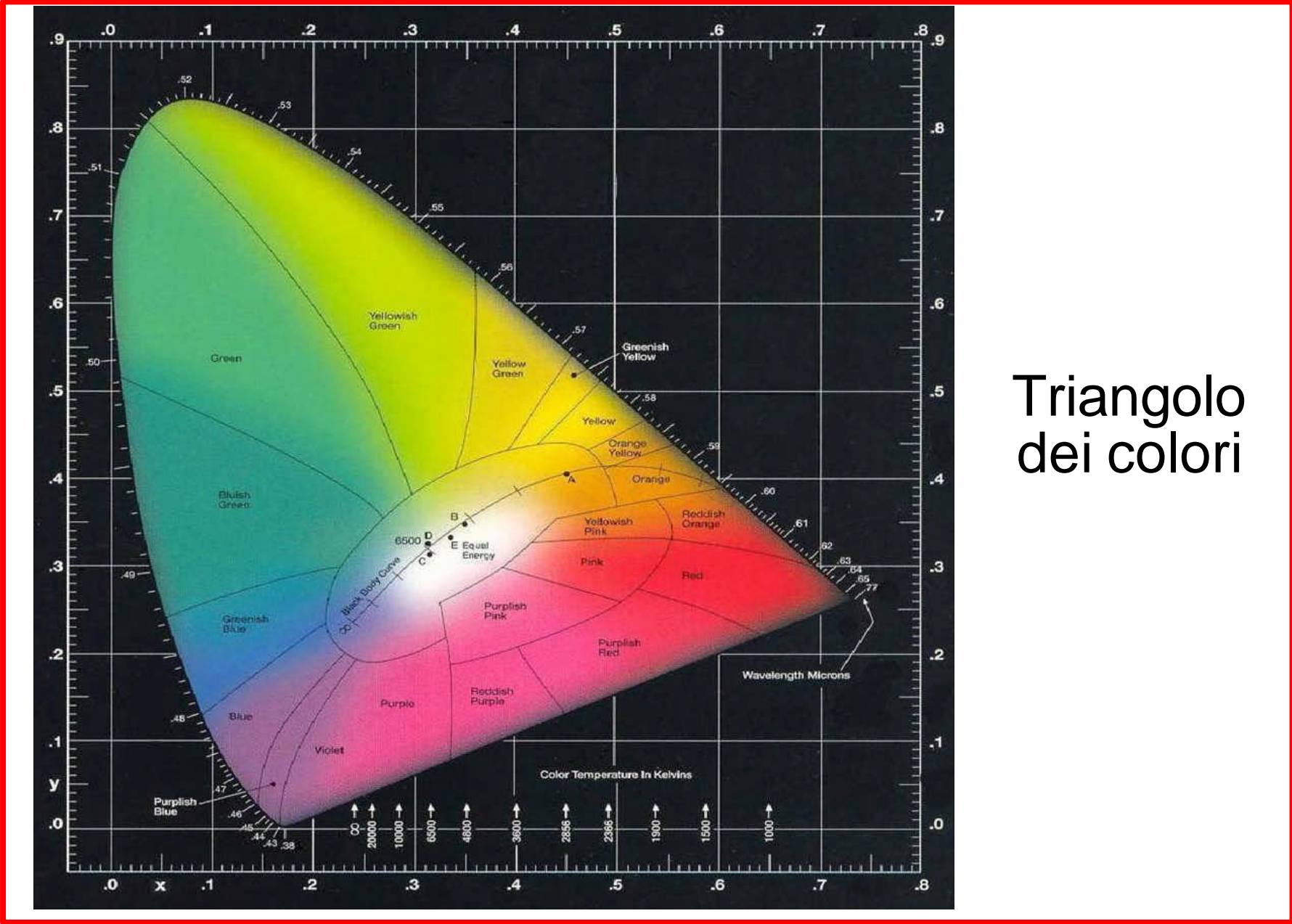
n indice di rifrazione del mezzo

Si ha $\lambda\nu=c$ $c=c_0/n$

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{dn}{n}$$



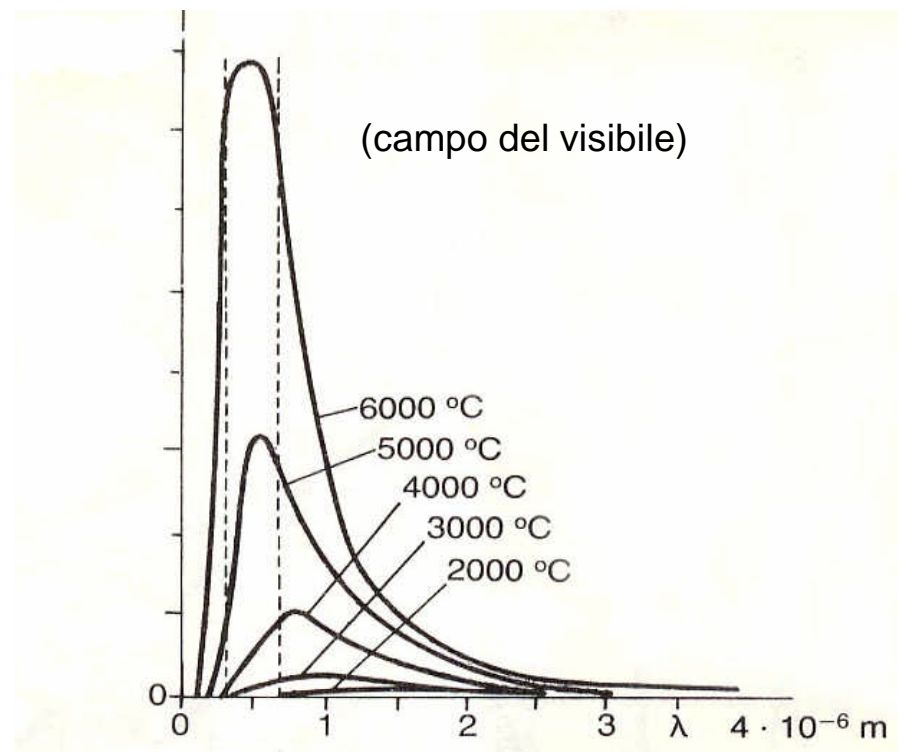
Spettro del visibile



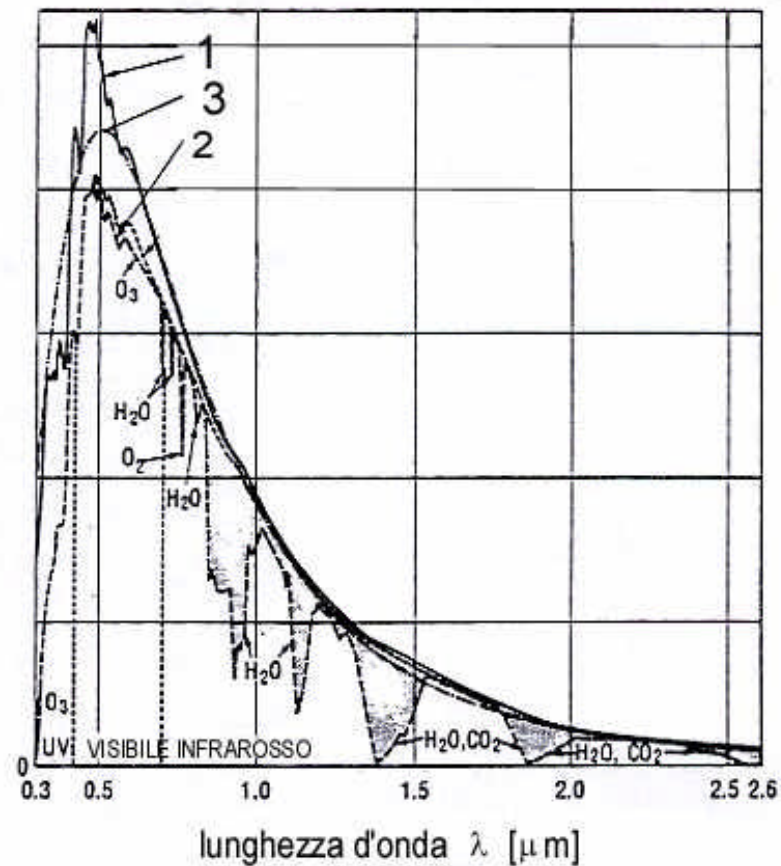
Triangolo dei colori

Radiazione solare che incide sull'atmosfera terrestre

La radiazione solare che giunge sulla terra (al di fuori dell'atmosfera) si può considerare equivalente a quella di corpo nero a circa 5800 °K (esattamente 5778 °K)



Un esempio di distribuzione della radiazione solare diretta al suolo è fornito in questa slide.



La quantità di energia raggiante che colpisce una data superficie nell'unità di tempo, si chiama **flusso di radiazione**, si indica con **W** e si misura in **Watt**

Il flusso di radiazione per unità di area ricevente viene chiamato
densità
di flusso di radiazione,
si indica con E
e si misura in Watt/m^2

Valori spettrali per unità di
lunghezza d'onda

W_1, E_1

Indicano il valore delle grandezze
nell'intorno
di una lunghezza d'onda, riferito
all'unità
di lunghezza d'onda

$$dW = W_{\lambda} d\lambda$$

dW

= flusso di radiazione
compreso tra le lunghezze
d'onda λ e $\lambda + d\lambda$

Valori spettrali per
unità di frequenza

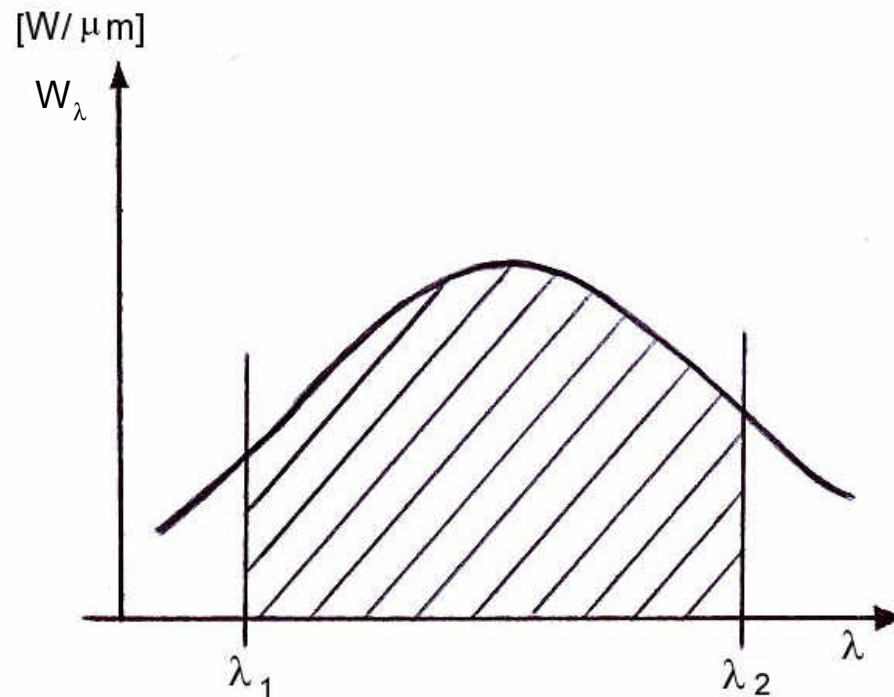
$$W_v, E_v$$

Indicano il valore delle grandezze
nell'intorno di una frequenza, riferito
all'unità di frequenza

$$dW = W_n dn$$

Cioè flusso di radiazione compreso
tra le frequenze
 ν e $\nu+dv$

Rappresentazione dell'andamento del flusso di radiazione W in funzione della lunghezza d'onda



In ordinate si riportano i valori spettrali del flusso W_λ .
Il flusso W è dato dall'integrale di W_λ

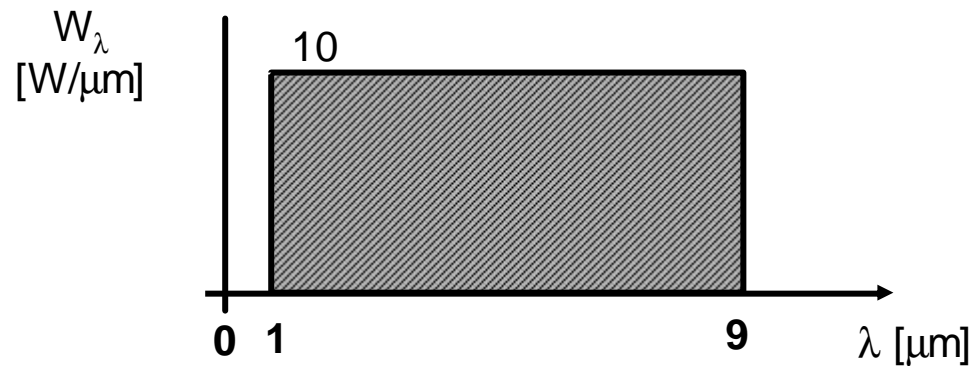
$$dW = W_\lambda d\lambda$$

$$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_\lambda d\lambda \quad [W]$$

$$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_\lambda d\lambda \quad [W]$$

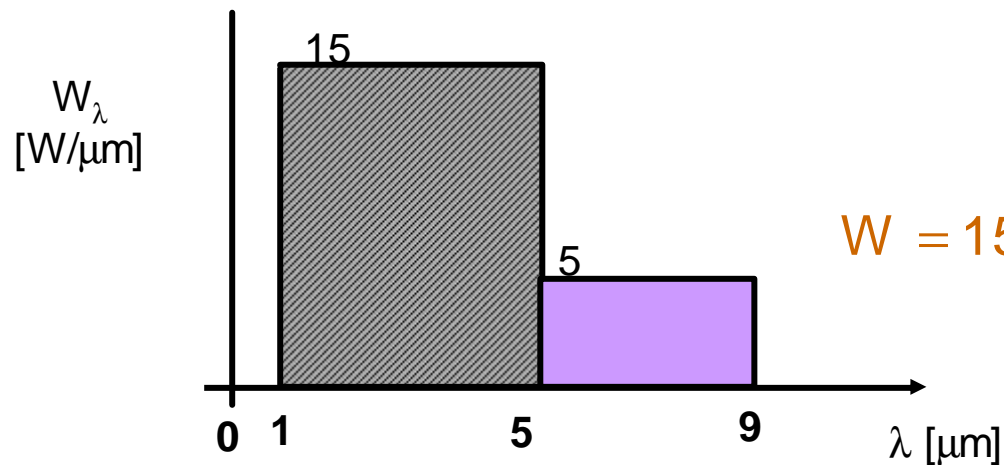
Esempi di flussi di radiazione infrarossa tra $\lambda=1 \mu\text{m}$ e $\lambda=9 \mu\text{m}$ aventi la stessa potenza ($W=80 \text{ [W]}$) e diversa distribuzione spettrale

Esempio A



$$W = 10 \cdot 8 = 80 \text{ [W]}$$

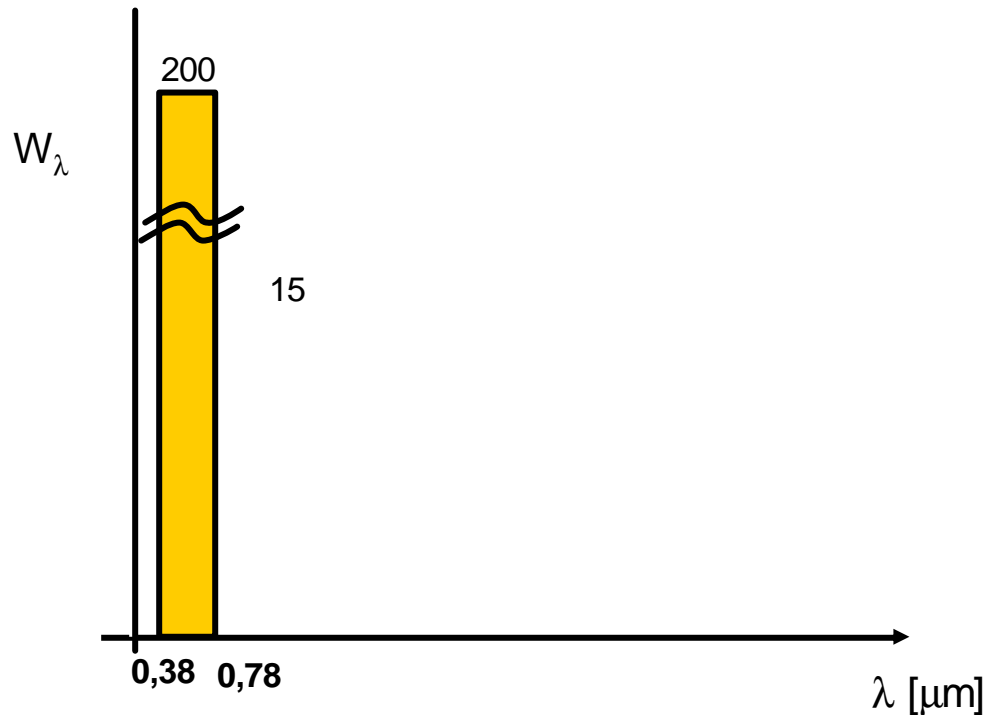
Esempio B



$$W = 15 \cdot 4 + 5 \cdot 4 = 80 \text{ [W]}$$

Esempio di flusso di radiazione visibile
($\lambda_1 = 0,38 \mu\text{m}$ $\lambda_2 = 0,78 \mu\text{m}$) avente $W = 80 \text{ [W]}$ come
nei due casi precedenti.

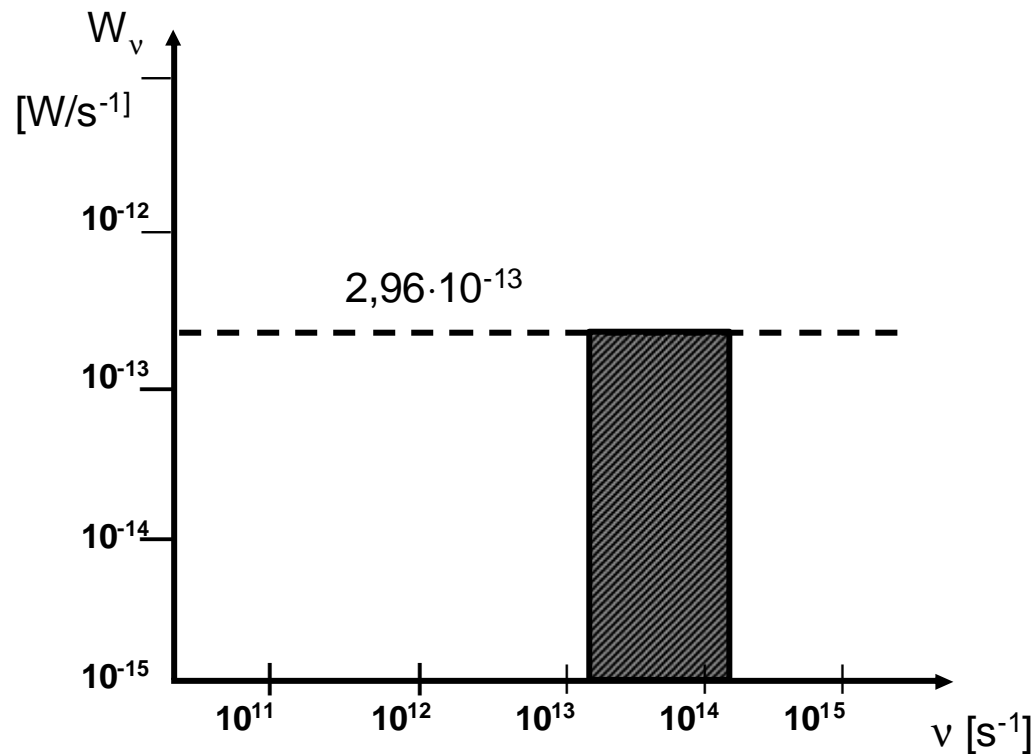
**Esempio
C**



$$W = 200(0,78 - 0,38) = 80 \text{ [W]}$$

Si osserva come
il valore di W_λ
sia salito a 200
 $\text{W}/\mu\text{m}$ contro il
valore 10 volte
più basso delle
radiazioni
infrarosse dei
due esempi
precedenti

Rappresentazione del flusso di radiazione spettrale dell'esempio A in funzione della frequenza



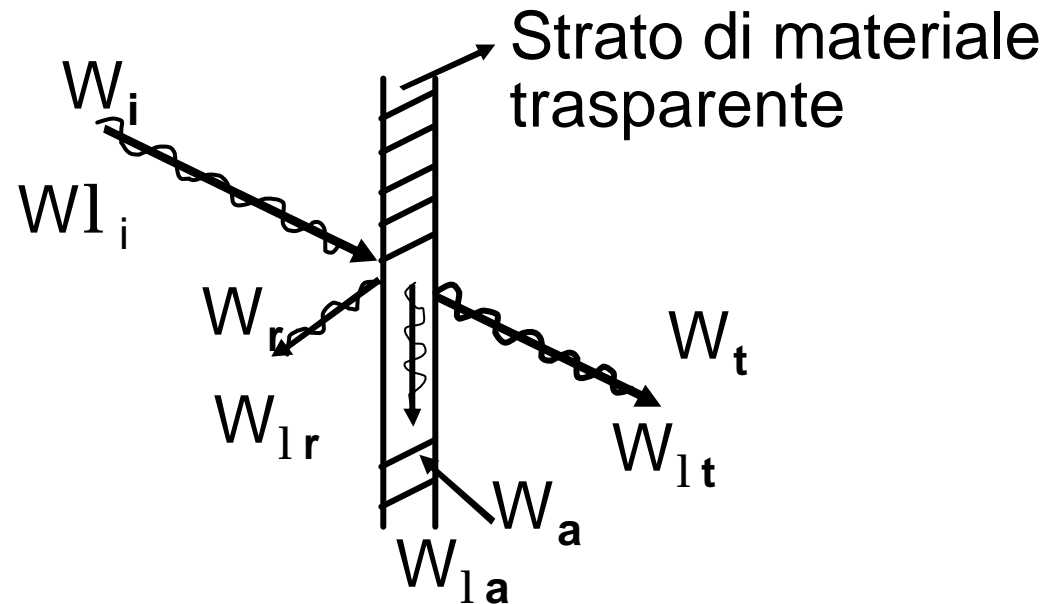
$$ln = c$$

$$c = 3 \cdot 10^{14} [\text{mm}]$$

$$\begin{cases} l = 1 \text{ mm} \\ n = 3 \cdot 10^{14} [\text{s}^{-1}] \end{cases}$$

$$\begin{cases} l = 9 \text{ mm} \\ n = 3,3 \cdot 10^{13} [\text{s}^{-1}] \end{cases}$$

Interazione della radiazione solare con uno strato di materiale trasparente (vetro)

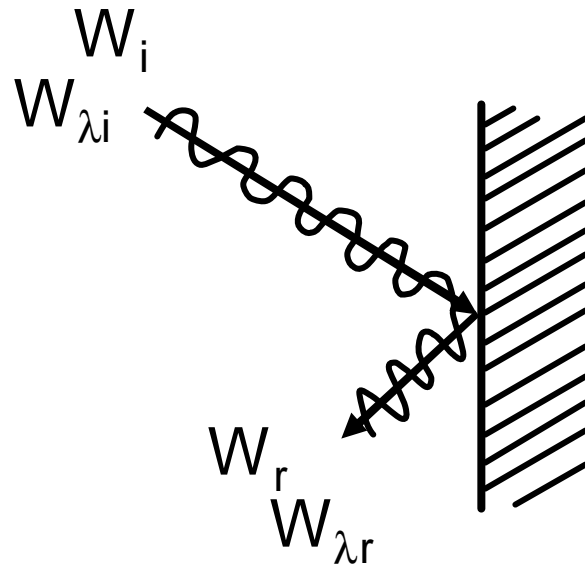


$$W_i$$

Flusso di radiazione incidente globale

$$W_{l_i}$$

Flusso di radiazione incidente spettrale o monocromatica

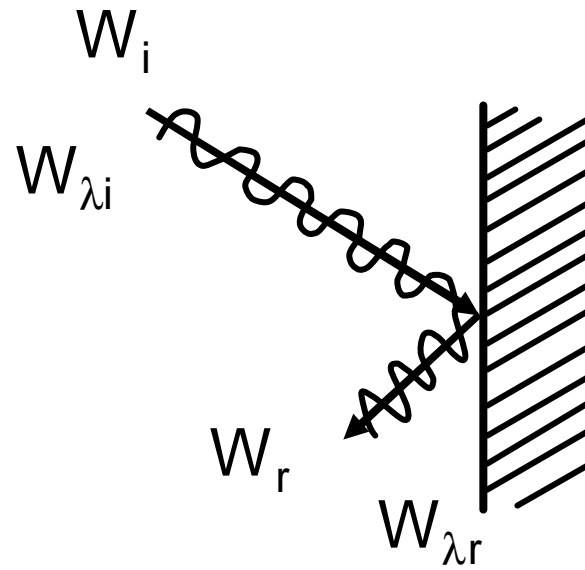


$$W_r$$

Flusso di radiazione
riflessa globale

$$W_{\lambda r}$$

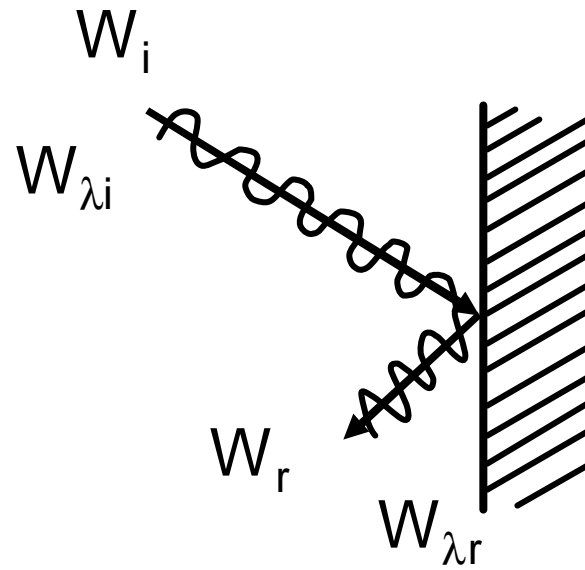
Flusso di radiazione riflessa
spettrale o monocromatico



$$W_r = r W_i$$

r

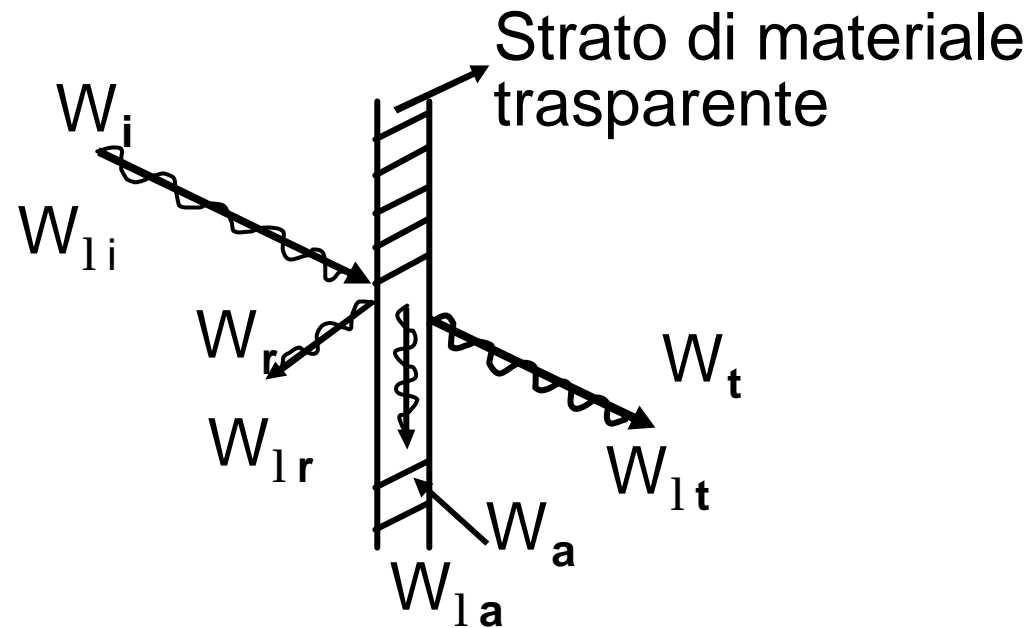
Coefficiente
di riflessione



$$W_{I_r} = r_{\lambda} W_{\lambda_i}$$

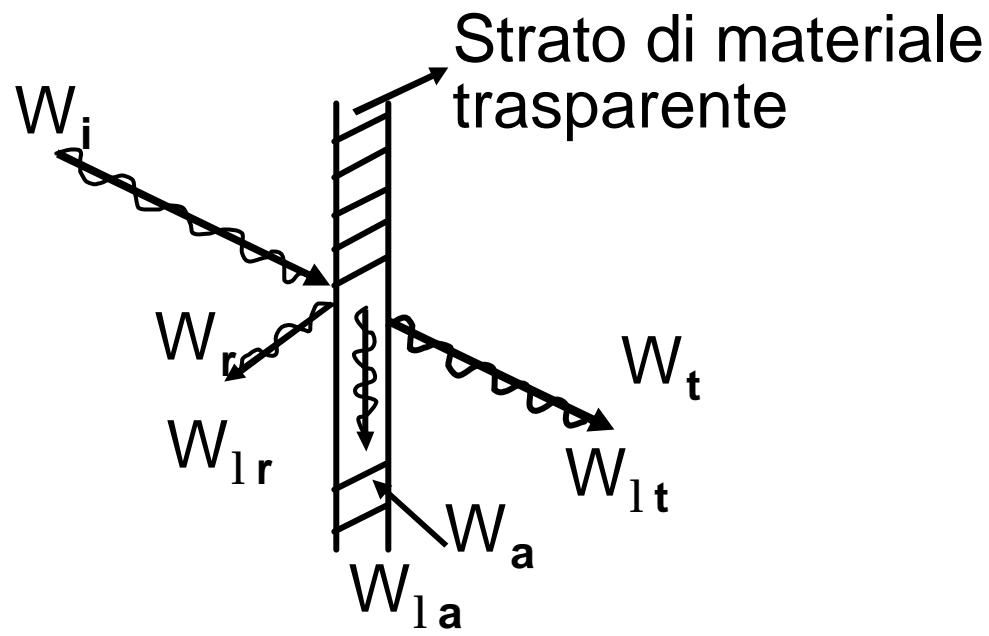
$$r_I$$

Coefficiente di riflessione
spettrale o monocromatico



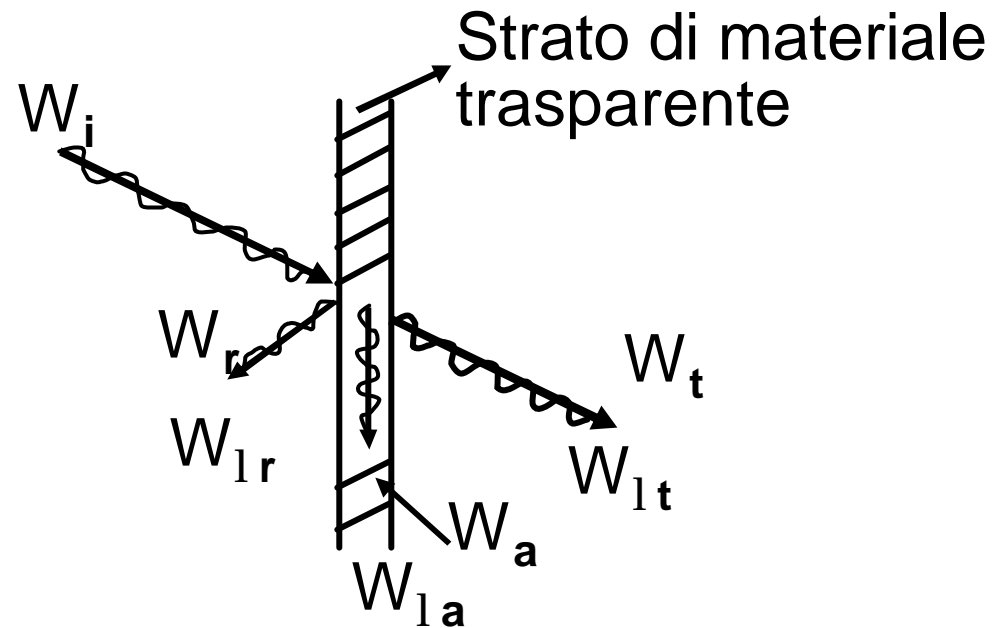
W_t, W_{lt}

Flusso globale e spettrale o monocromatico di radiazione trasmesso dallo strato di materiale trasparente

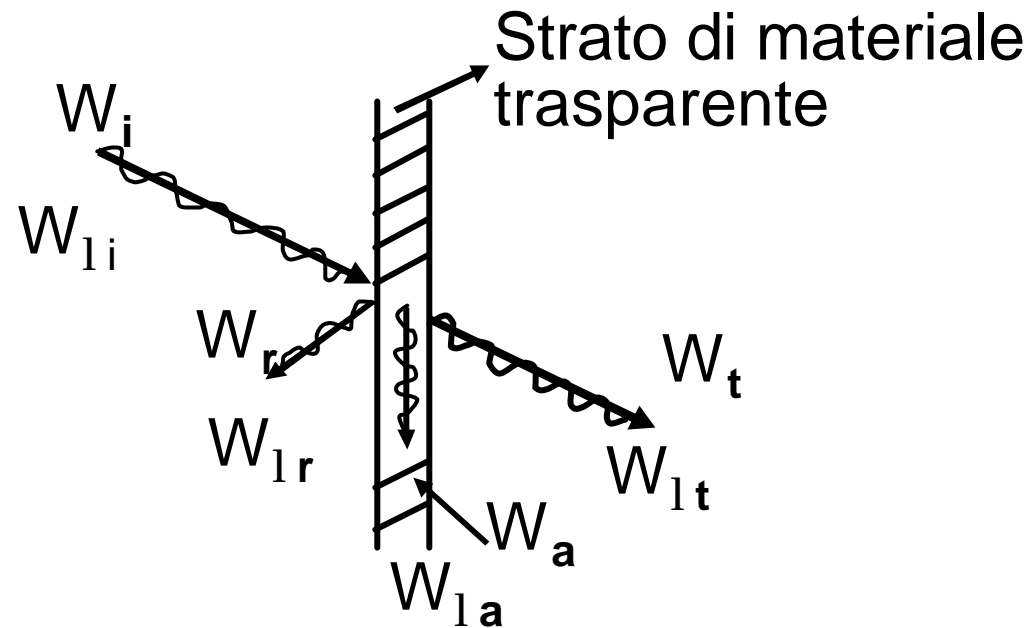


$$W_t = t \cdot W_i$$

$$W_{lt} = t_l \cdot W_{lr}$$

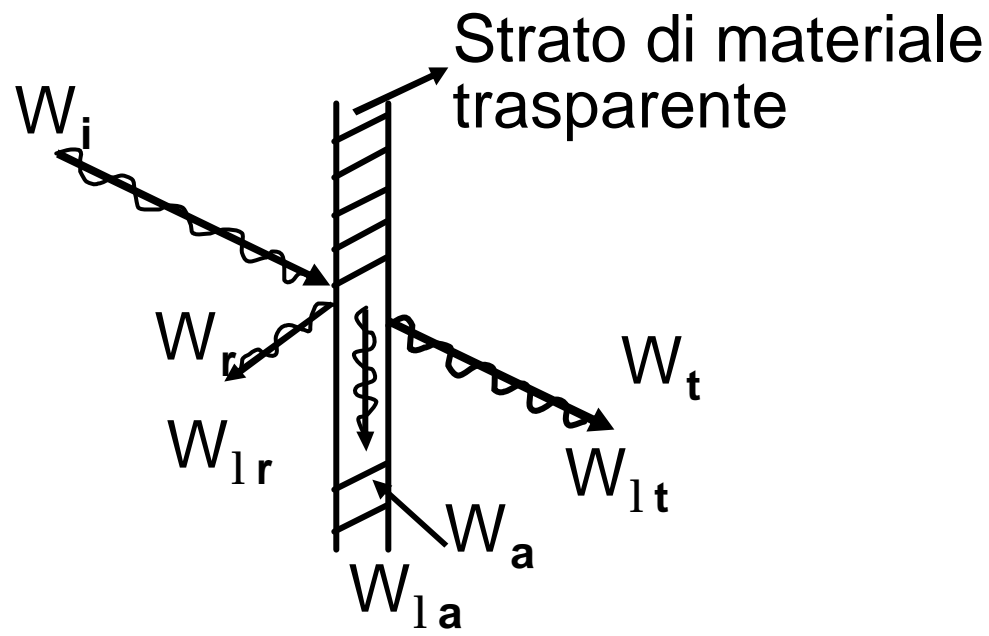


t e t_λ coefficiente di trasmissione globale e spettrale dello strato di materiale trasparente



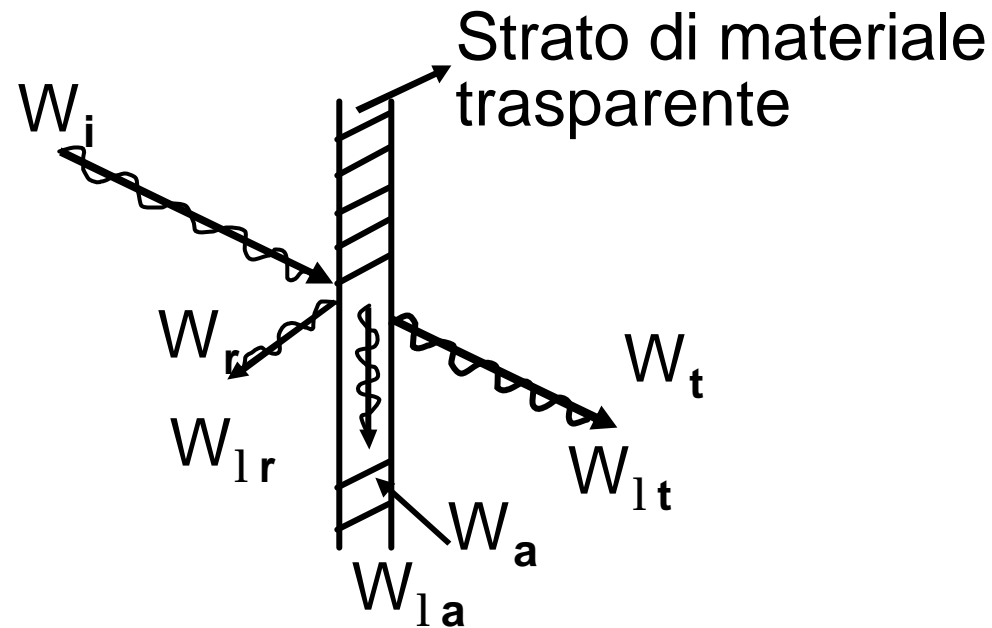
W_a, W_{la}

Flusso di radiazione globale e spettrale o monocromatico assorbita dallo strato di materiale trasparente

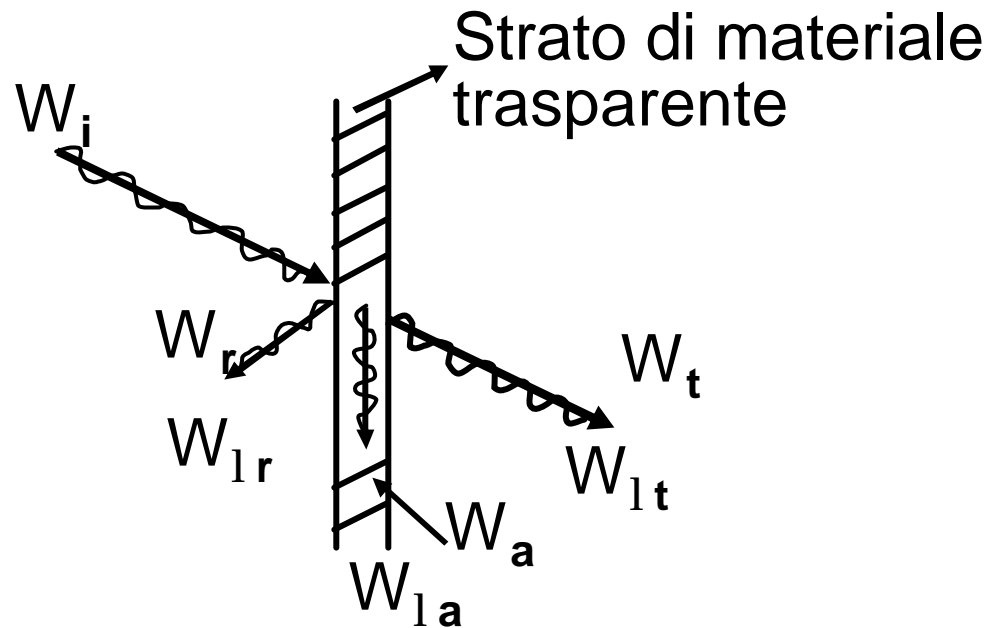


$$W_a = a \cdot W_i$$

$$W_{1a} = a_l \cdot W_i$$



a ed a_λ coefficiente di assorbimento globale e spettrale dello strato di materiale trasparente



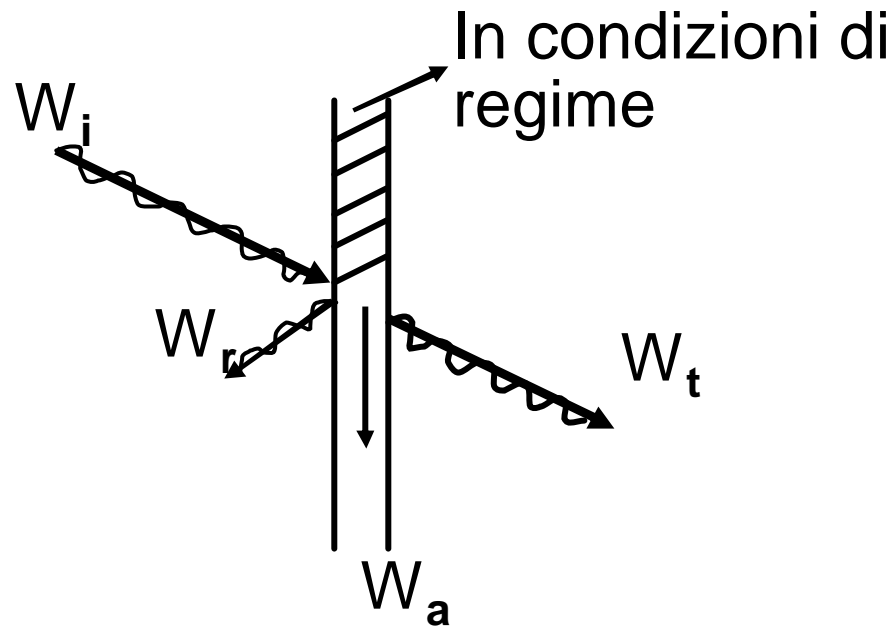
r, a, t

r_1, a_1, t_1

Coefficienti di riflessione, assorbimento e trasmissione di uno strato di materiale (se vetro a ed $a_\lambda \cong 0,$)

Se la superficie, anziché trasparente (vetro) è opaca (es. pareti di un edificio)

$$t \cong 0, t\lambda \cong 0$$

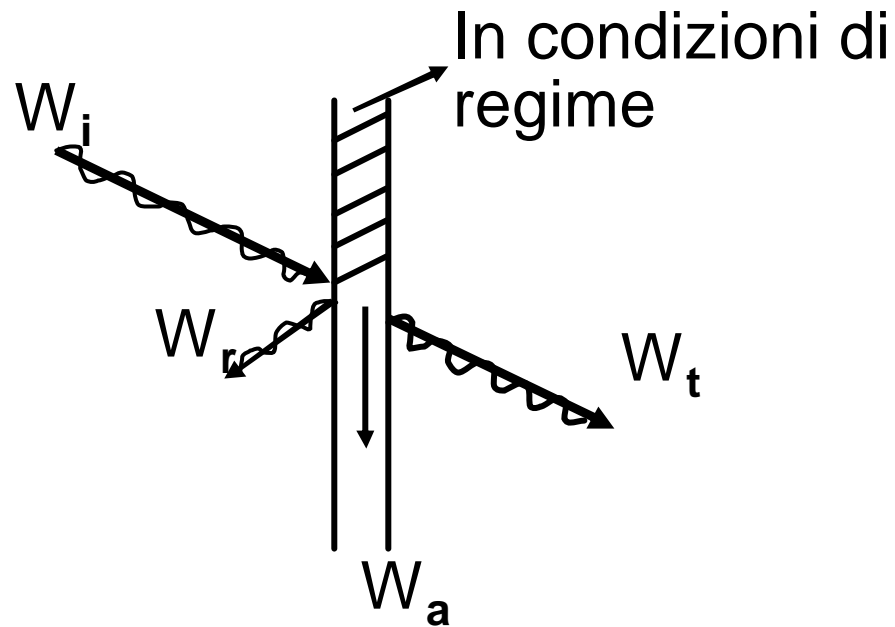


$$W_i = W_r + W_a + W_t$$

$$W_i = rW_i + aW_i + tW_i$$

$$1 = r + a + t$$

Equazione di
conservazione
della energia in
regime
stazionario



$$W_{Ii} = W_{Ir} + W_{Ia} + W_{It}$$

$$W_{Ii} = r_I W_{Ii} + a_I W_{Ii} + t_I W_{Ii}$$

$$1 = r_I + a_I + t_I$$

Equazione di
conservazione
della energia in
regime
stazionario

$$0 < r, r_1 < 1$$

$$0 < a, a_1 < 1$$

$$0 < t, t_1 < 1$$

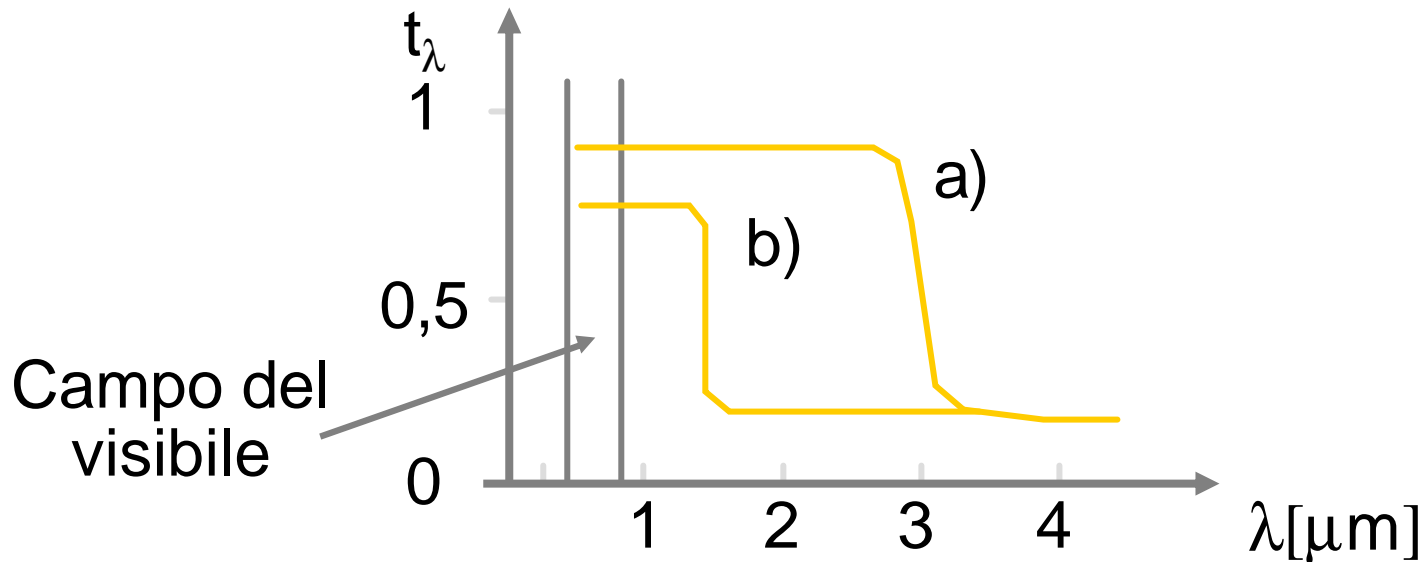
$$[r] = [r_1] = [a] = [a_1] = [t] = [t_1] = 0$$

a dimensionati

Superfici selettive

Se r_λ varia con λ la superficie cui r_λ si riferisce si dice **selettiva**

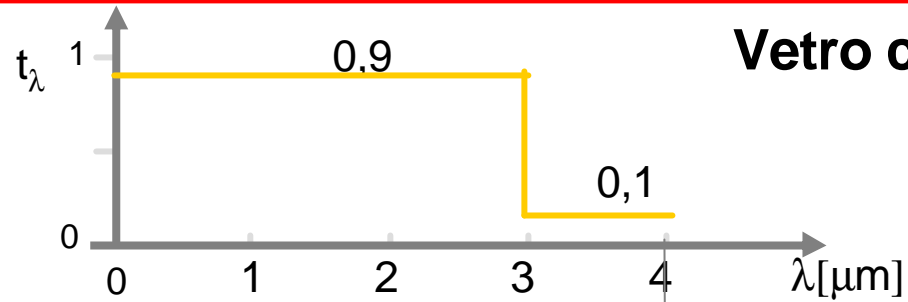
Se t_λ varia con λ il materiale trasparente cui t_λ si riferisce si dice **selettivo**



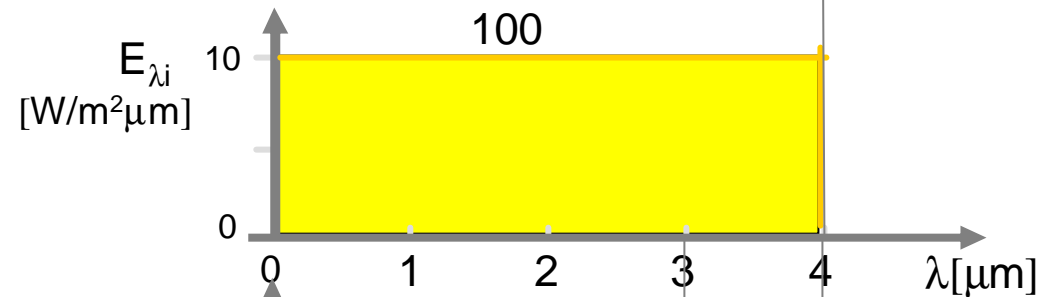
Schematizzazione dell'andamento del coefficiente di trasmissione spettrale o monocromatico di una lastra di vetro comune (a) e "antisolare" (b).

Si nota come entrambe le lastre siano selettive

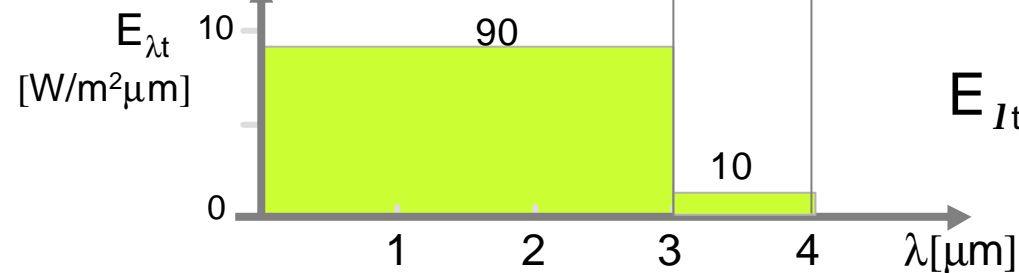
Coefficiente di trasmissione



Radiazione incidente



Radiazione trasmessa



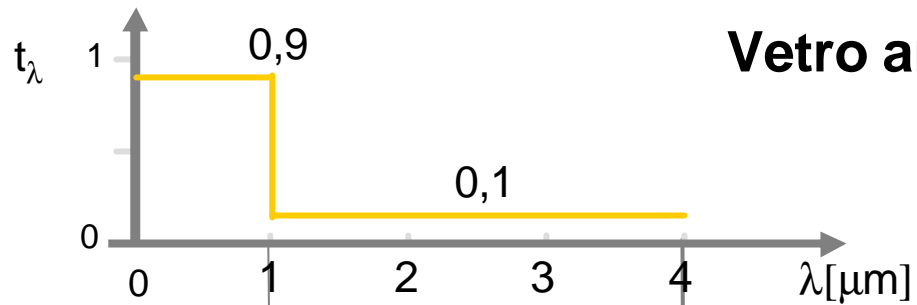
$$E_{It} = t_I \cdot E_{Ii}$$

 Radiazione incidente sul vetro comune [tot 400 W/m^2]

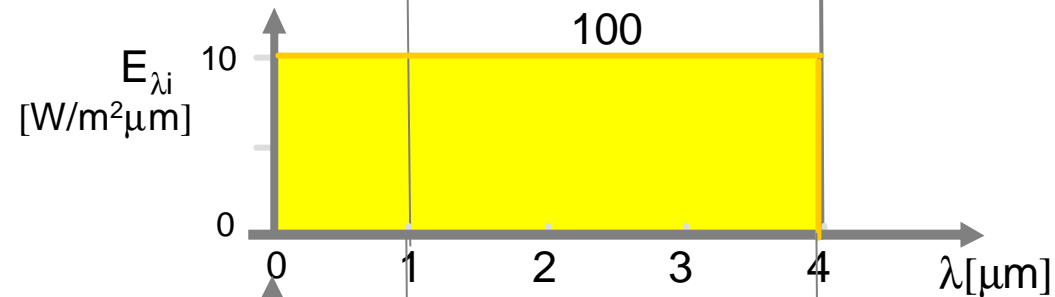
 Radiazione trasmessa dal vetro comune [tot 280 W/m^2]

Calcolo della radiazione trasmessa attraverso un vetro comune

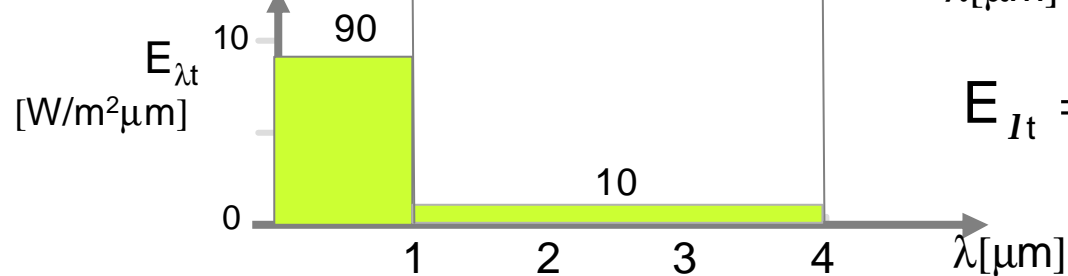
Coefficiente di trasmissione





Radiazione incidente



Radiazione trasmessa

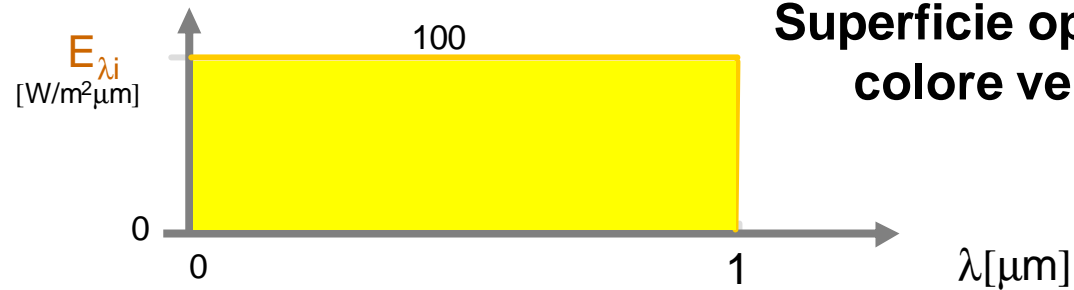


$$E_{It} = t_I \cdot E_{Ii}$$

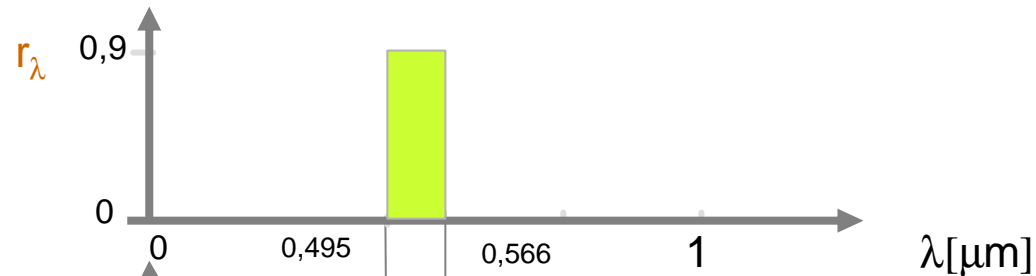
-  Radiazione incidente sul vetro antisolare [tot 400 W/m²]
-  Radiazione trasmessa dal vetro antisolare [tot 120 W/m²]

Calcolo della radiazione trasmessa attraverso un vetro antisolare

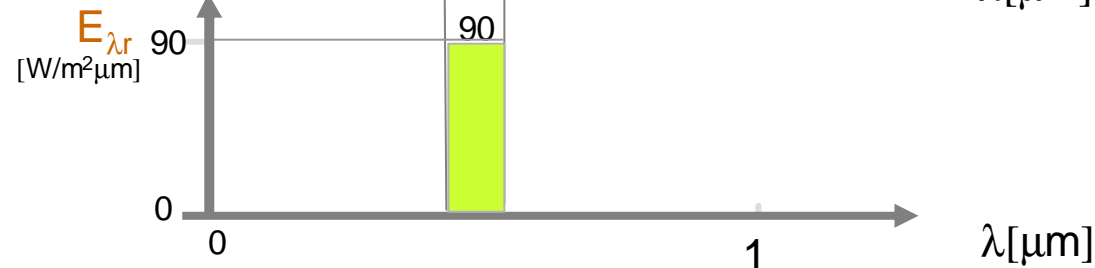
Radiazione incidente
(luce bianca)



Coefficiente di riflessione spettrale della superficie (verde)



Radiazione riflessa (verde)



Radiazione riflessa

$$E_r = \int_0^{\infty} E_{I_r} dI = \int_{0,495}^{0,566} E_{I_i} r_I dI = (0,566 - 0,495) \cdot 90 = 6,39 \text{ W / m}^2$$

Calcolo della radiazione riflessa da una superficie di colore verde