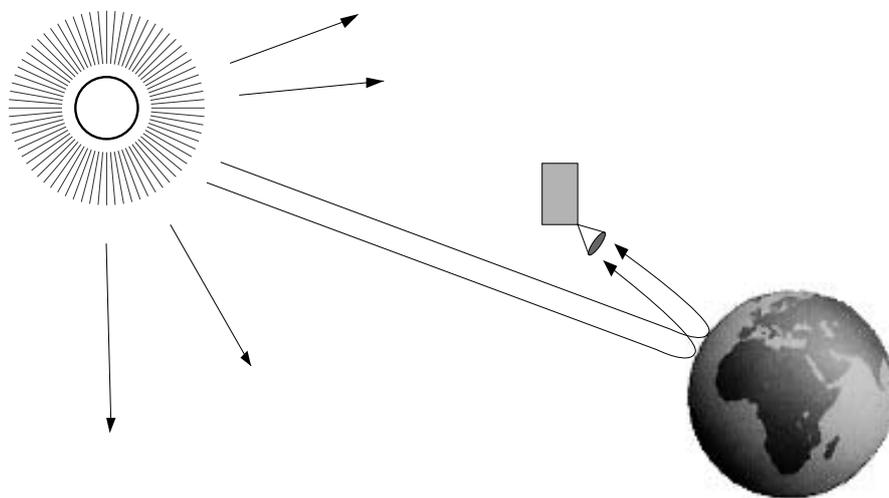


EARTH OBSERVATION EDUCATIONAL

telerilevamento e diagnostica
elettromagnetica 1

(parte 2)

Tecniche passive VIS, NIR



emissione termica mezzi naturali a
temperature ambiente terrestre:

non apprezzabile

(a parte vulcani attivi)

sorgente: sole (in rari casi luna o stelle)

per osservazione superficie terrestre:

finestre atmosferiche

radiazione policromatica solare incidente

sulla superficie terrestre: assorbita, riflessa

- flusso radiante:

incidente	\mathcal{P}_i
assorbito	\mathcal{P}_a
riflesso	\mathcal{P}_r

densità superficiale di potenza incidente,
assorbita e riflessa dalla superficie

$$\mathcal{P}_i = \mathcal{P}_a + \mathcal{P}_r \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

- flusso radiante spettrale:

incidente	$\mathcal{P}_{i\lambda} = \frac{d\mathcal{P}_i}{d\lambda}$
assorbito	$\mathcal{P}_{a\lambda} = \frac{d\mathcal{P}_a}{d\lambda}$
riflesso	$\mathcal{P}_{r\lambda} = \frac{d\mathcal{P}_r}{d\lambda}$

densità di potenza per unità di superficie
e per unità di lunghezza d'onda

$$\mathcal{P}_{i\lambda} = \mathcal{P}_{a\lambda} + \mathcal{P}_{r\lambda} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \mu\text{m}} \right]$$

- riflettanza spettrale:

$$R(\lambda) = \frac{\mathcal{P}_{r\lambda}}{\mathcal{P}_{i\lambda}}$$

- assorbanza spettrale:

$$A(\lambda) = \frac{\mathcal{P}_{a\lambda}}{\mathcal{P}_{i\lambda}} = 1 - R(\lambda)$$

- riflettanza, assorbanza: quantità integrali

flusso radiante incidente: irradianza

flusso radiante riflesso:

frazione di potenza riflessa globalmente
(speculare, diffusa)

spettrometri:

flusso radiante spettrale dalla superficie ($\mathcal{P}_{r\lambda}$)
supponendo noto flusso solare incidente ($\mathcal{P}_{i\lambda}$)



riflettanza $R(\lambda)$
(informazioni proprietà superficie)

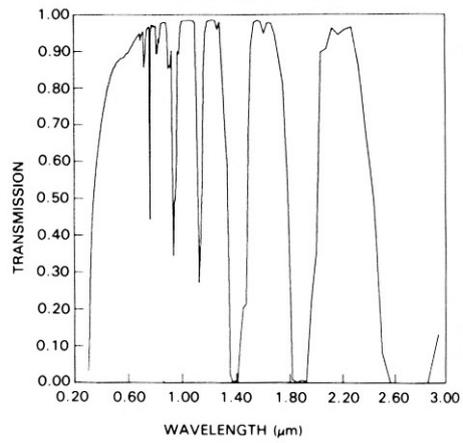
flusso radiante spettrale sole non costante:
posizione angolare,
condizioni meteorologiche
(vapor d'acqua, aerosol, nubi)

correzione atmosferica

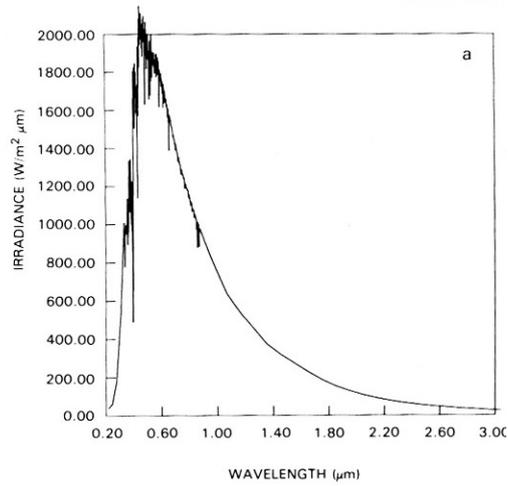
riflettanza: quantità primaria sistemi passivi
per osservazione superficie
terrestre in VIS, NIR

composizione chimica, struttura cristallina,
contenuto d'acqua, rugosità

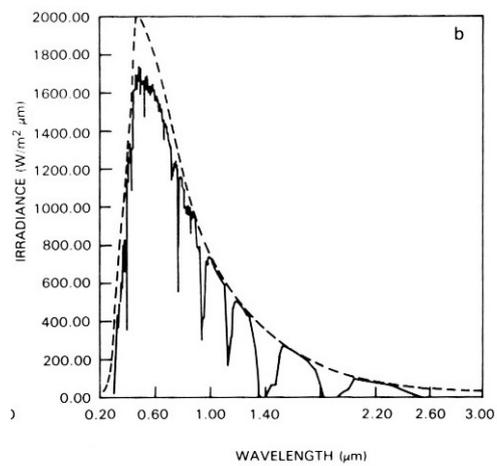
trasmissività atmosferica



flusso radiante spettrale solare esterno all'atmosfera

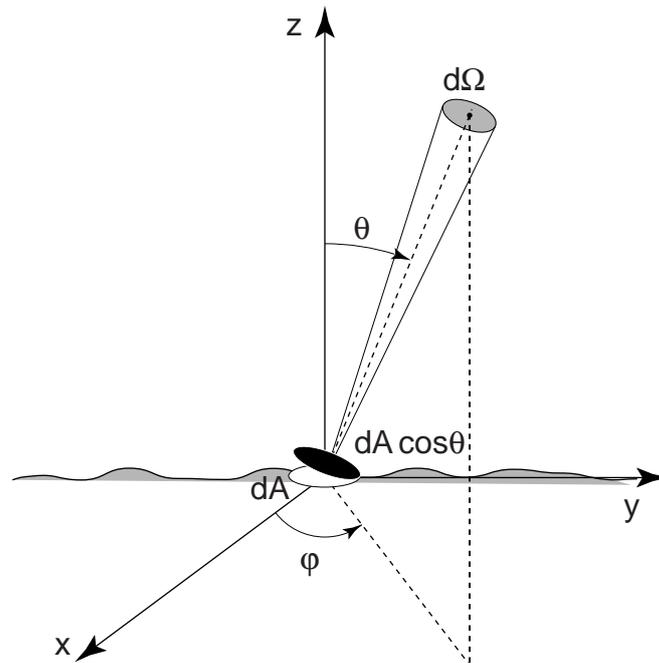


flusso radiante spettrale alla superficie terrestre



Tecniche passive TIR

Ogni corpo a temperatura $T \neq 0$ K irradia spontaneamente potenza elettromagnetica distribuita su tutto lo spettro



radianza spettrale:

$$J(\lambda, \theta, \phi, T) = \frac{dW(\lambda, \theta, \phi, T)}{dA \cos \theta d\Omega d\lambda} \quad \left[\frac{W}{m^2 \text{sr } \mu\text{m}} \right]$$

densità di potenza per unità di angolo solido per unità di λ che transita attraverso una superficie unitaria ortogonale alla direzione considerata

fissati λ, θ, ϕ, T :

\mathcal{J} dipende solo da caratteristiche
fisiche oggetto

limite superiore stabilito da legge di Planck:

$$\mathcal{J}(\lambda, \theta, \phi, T) \leq B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left[e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right]}$$

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s velocità della luce nel vuoto

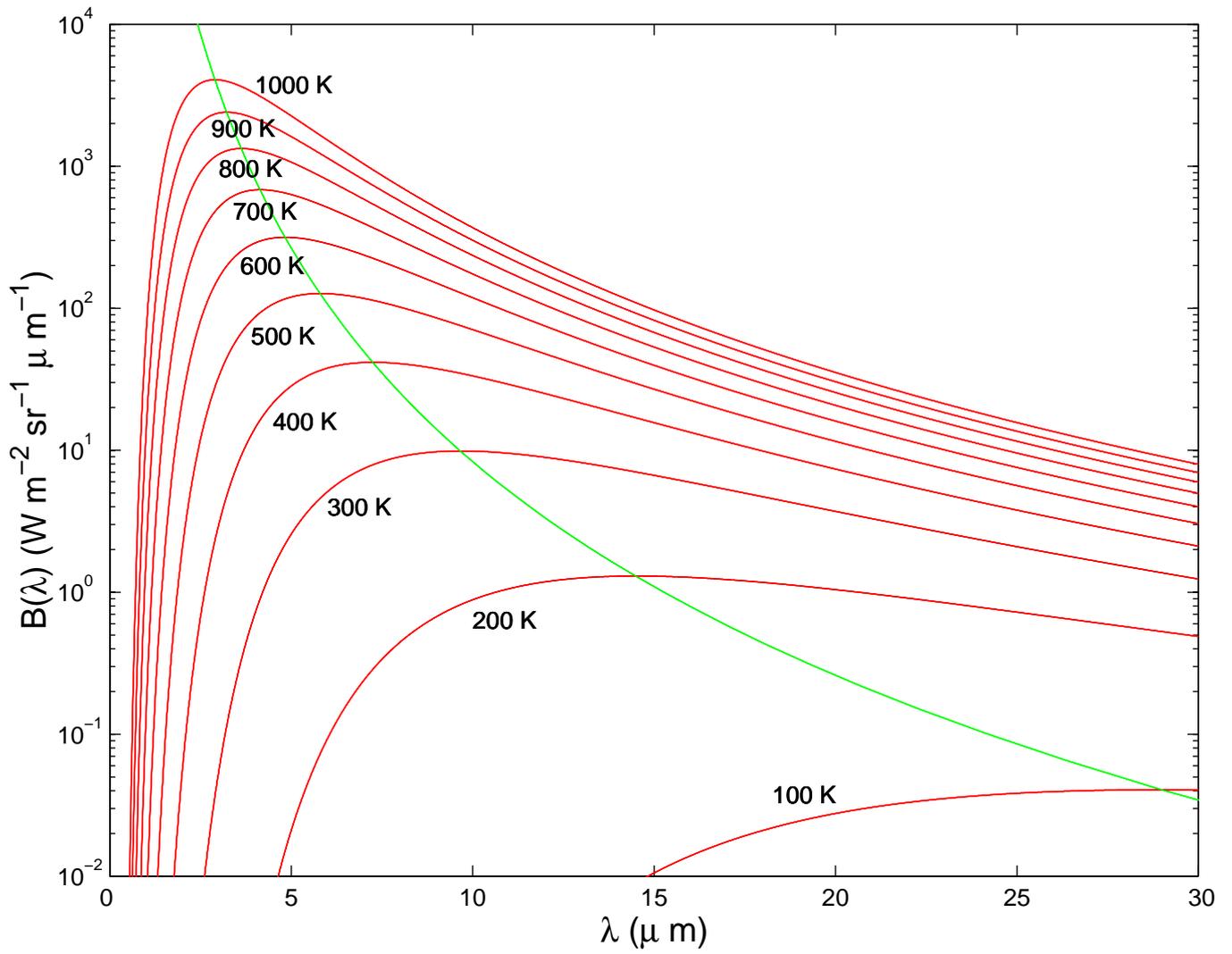
$h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ J.s costante di Planck

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K costante di Boltzmann

corpo nero:

$$\mathcal{J}(\lambda, \theta, \phi, T) = B(\lambda, T)$$

emette la massima potenza teoricamente
possibile per data temperatura e λ



legge di Stefan/Boltzmann:

$$\int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda = \frac{\sigma}{\pi} T^4 \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{sr}} \right]$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}:$$

costante di Stefan/Boltzmann

$$\text{legge di Wien: } \lambda_M = \frac{2898}{T} \quad [\mu\text{m}]$$

λ_M : λ di massimo di funzione di Planck

superficie terrestre: $T = 240 \div 320 \text{ K}$

$$\Rightarrow \lambda_M = 9 \div 12 \mu\text{m}$$

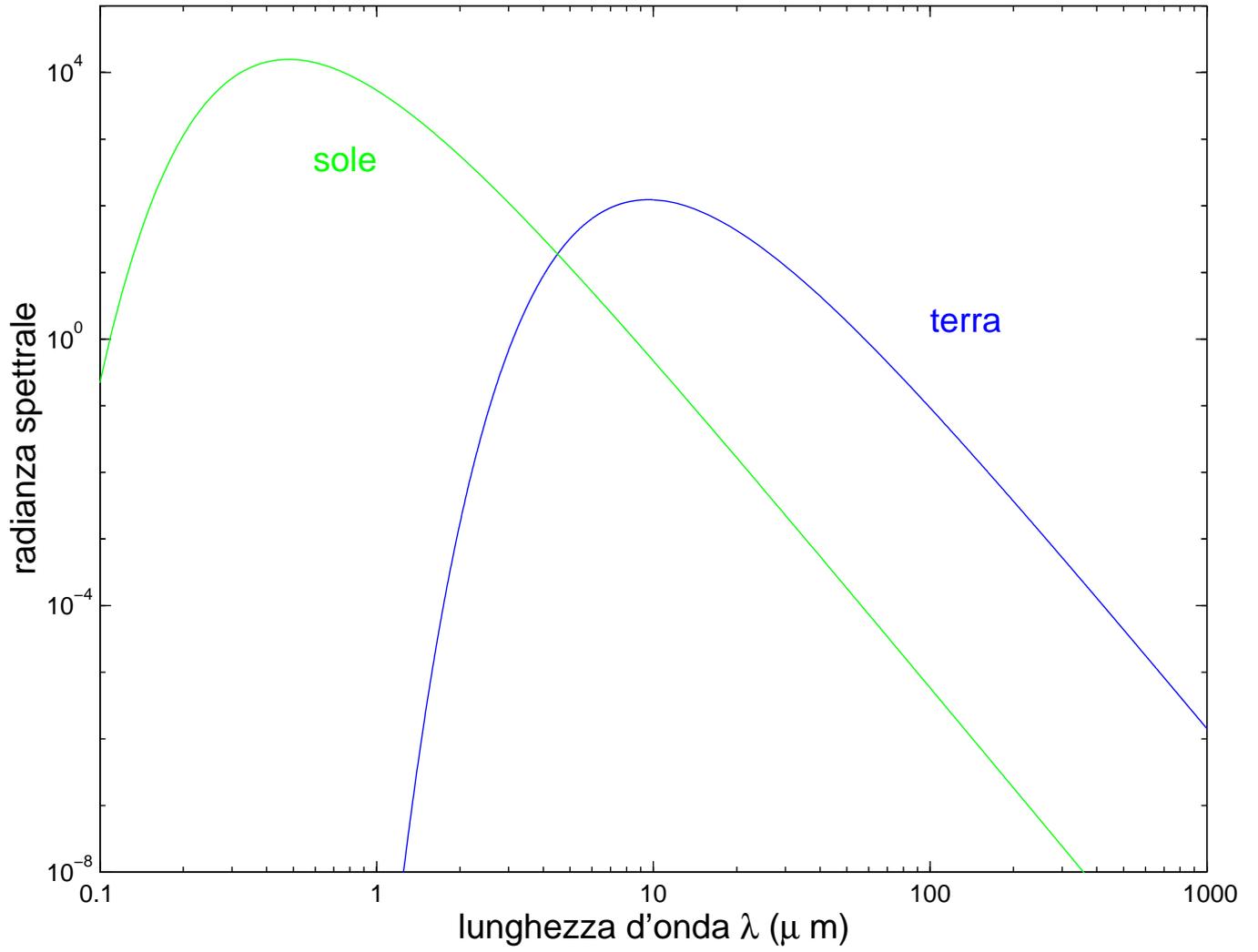
maggior parte potenza:

$4 \div 30 \mu\text{m}$ (infrarosso termico, TIR)

per fortuna: larga finestra atmosferica
(a parte O_3 a $9.7 \mu\text{m}$)

$\lambda > 7 \mu\text{m}$:

\mathcal{J} radiazione solare reirradiata da superficie terrestre bassa rispetto ad emessa (in genere può essere trascurata)



conoscendo T , da misura di \mathcal{J} si può calcolare l'emissività spettrale:

$$e_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{\mathcal{J}(\lambda, \theta, \phi, T)}{B(\lambda, T)} \leq 1$$

o l'emissività:

$$e = \frac{\int_0^{\infty} \mathcal{J}(\lambda, \theta, \phi, T) d\lambda}{\int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} \mathcal{J}(\lambda, \theta, \phi, T) d\lambda}{\frac{\sigma}{\pi} T^4}$$

e_{λ} : frazione di potenza di corpo nero che può essere emessa nell'intorno di una determinata λ

incide potenza e.m. da θ, ϕ
(situazione inversa di emissione):

una parte penetra e dissipandosi
si trasforma in calore

$$\mathcal{P}_a(\lambda, \theta, \phi) = A_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) \mathcal{P}_i(\lambda, \theta, \phi)$$

$A_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi)$ assorbività

$\mathcal{P}_i(\lambda, \theta, \phi)$ flusso radiante spettrale incidente

$\mathcal{P}_a(\lambda, \theta, \phi)$ flusso radiante spettrale assorbito

legge di Kirchhoff:

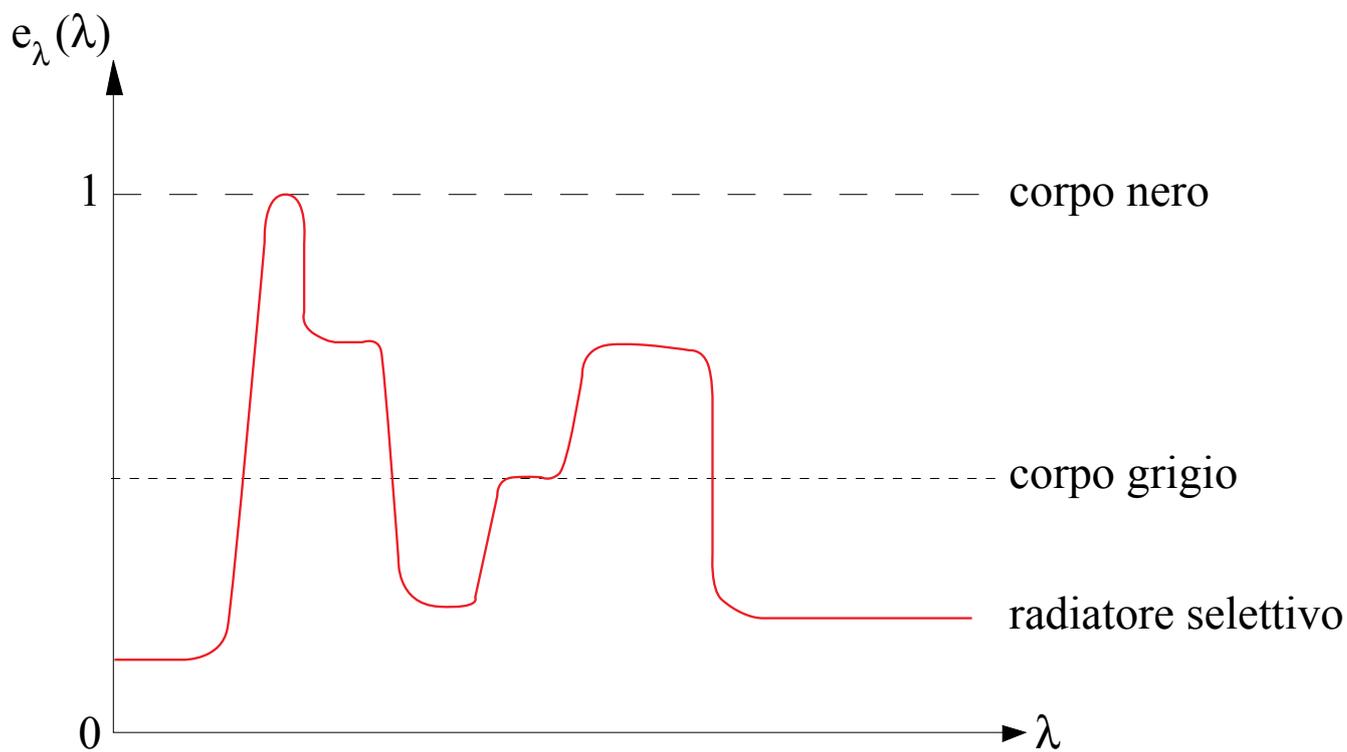
$$e_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) = A_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{\mathcal{P}_a(\lambda, \theta, \phi)}{\mathcal{P}_i(\lambda, \theta, \phi)}$$

$$e(\theta, \phi) = A(\theta, \phi) = \frac{\int_0^{\infty} \mathcal{P}_a(\lambda, \theta, \phi) d\lambda}{\int_0^{\infty} \mathcal{P}_i(\lambda, \theta, \phi) d\lambda}$$

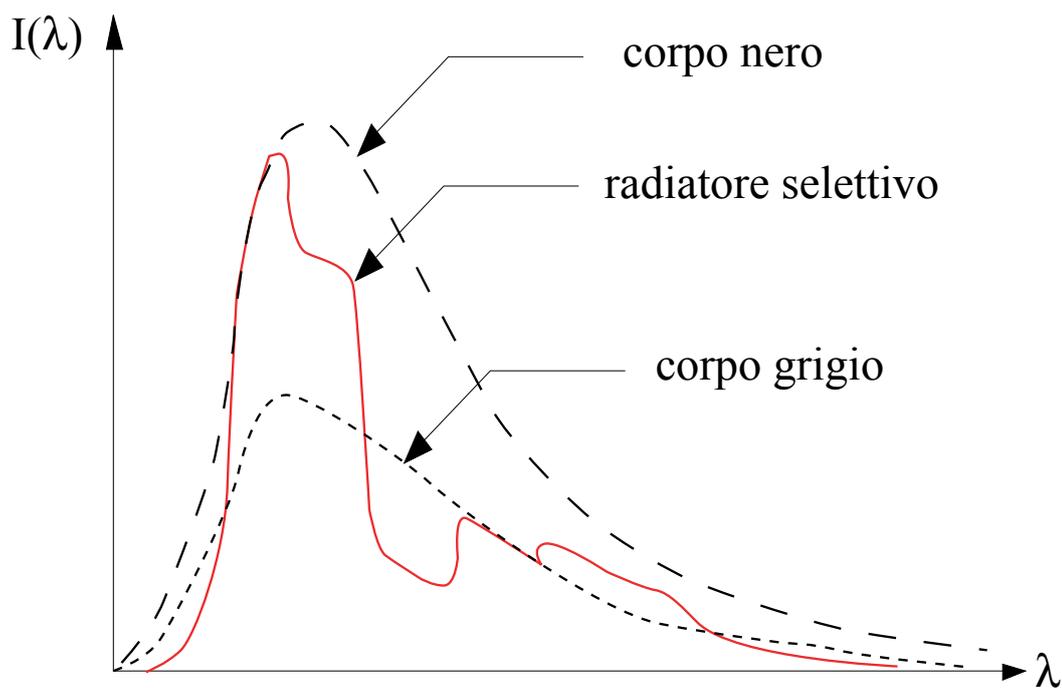
per reciprocità elettromagnetica, frazione di potenza proveniente da θ, ϕ che viene assorbita coincide con quella emessa nella stessa direzione

corpo nero:

$$e_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) = e(\theta, \phi) = A_{\lambda}(\lambda, \theta, \phi) = A(\theta, \phi) = 1$$



corpo nero: $e = 1$
 corpo grigio: $0 < e < 1$ ($e = \text{cost}$)
 radiatore selettivo: $0 < e < 1$ (e variabile)

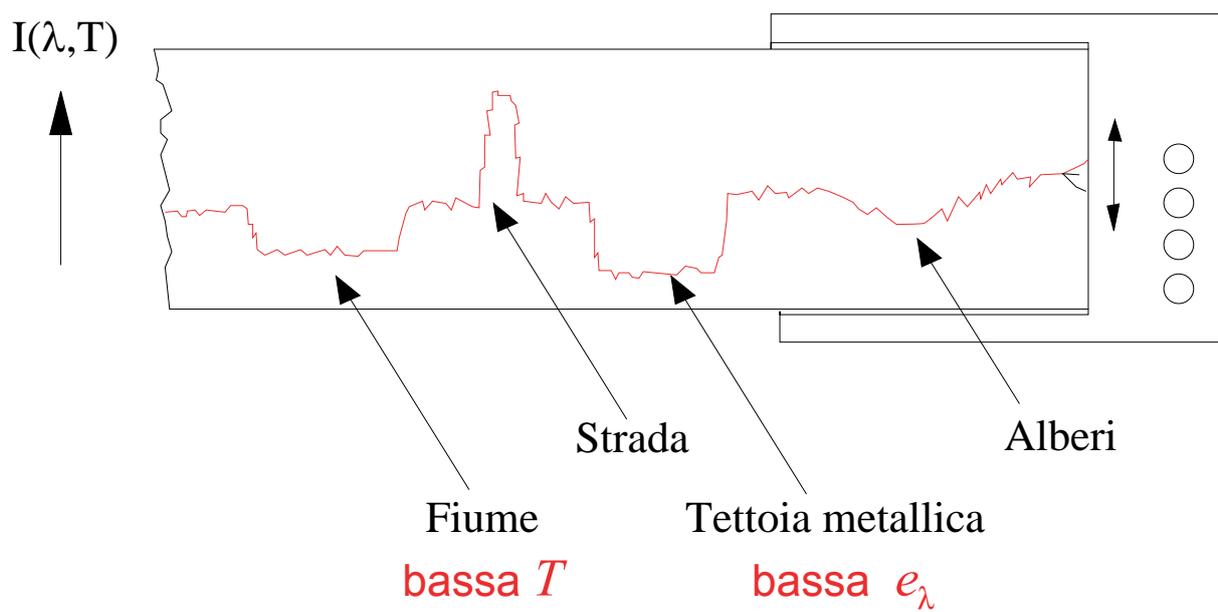
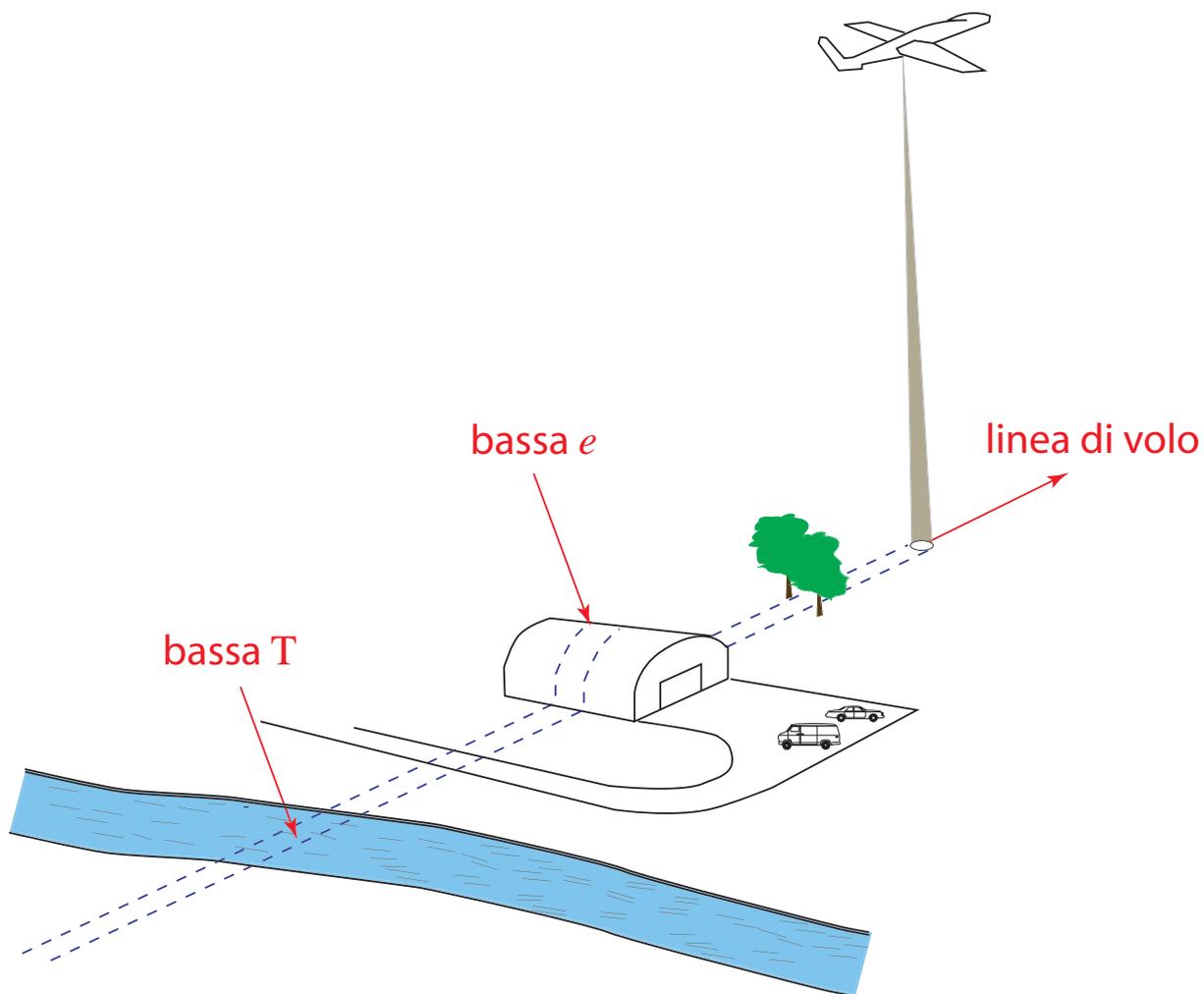


potenza ricevuta da radiometro TIR che osserva corpo a T proporzionale a radiazione emessa intorno a λ :

$$W(\lambda, T) = K \mathcal{J}(\lambda, T) = K e(\lambda) B(\lambda, T)$$

funzione di temperatura e di caratteristiche di corpo osservato

- nota e si ricava T
(mare, regioni note, atmosfera)
- nota T si ricava e :
si ricavano informazioni su proprietà del mezzo osservato



Tecniche passive a μ onde

sistemi relativamente recenti

sviluppo tecnologico, teorico e applicativo
in forte espansione

uso sinergico di sensori in bande diverse
molto utile

(diversa natura meccanismi interazione)

approssimazione di Rayleigh-Jeans:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left[e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right]} \simeq \frac{2ckT}{\lambda^4}$$

$$\left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \simeq \frac{hc}{\lambda kT} \right)$$

potenza emessa funzione lineare di T

brillanza invece di radianza e f invece di λ

$$dB = B_\lambda d\lambda \quad dB = B_f df$$

$$B(f, T) = \left| \frac{d\lambda}{df} \right| B(\lambda, T) = \frac{2hf^3}{c^2 \left[e^{\frac{hf}{kT}} - 1 \right]} \simeq \frac{2kf^2T}{c^2}$$

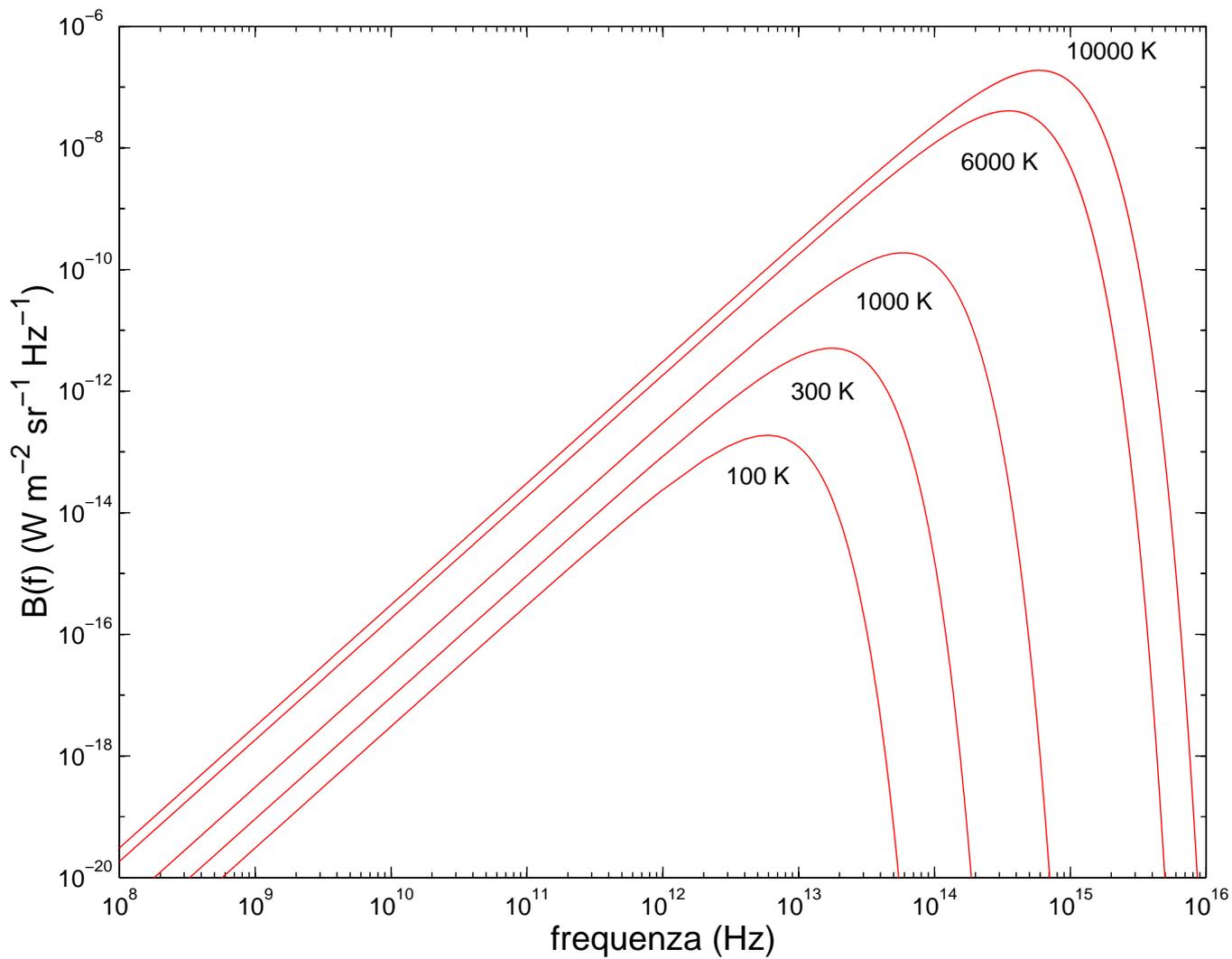
$$\left(\lambda = \frac{c}{f} \quad \frac{d\lambda}{df} = -\frac{c}{f^2} \right)$$

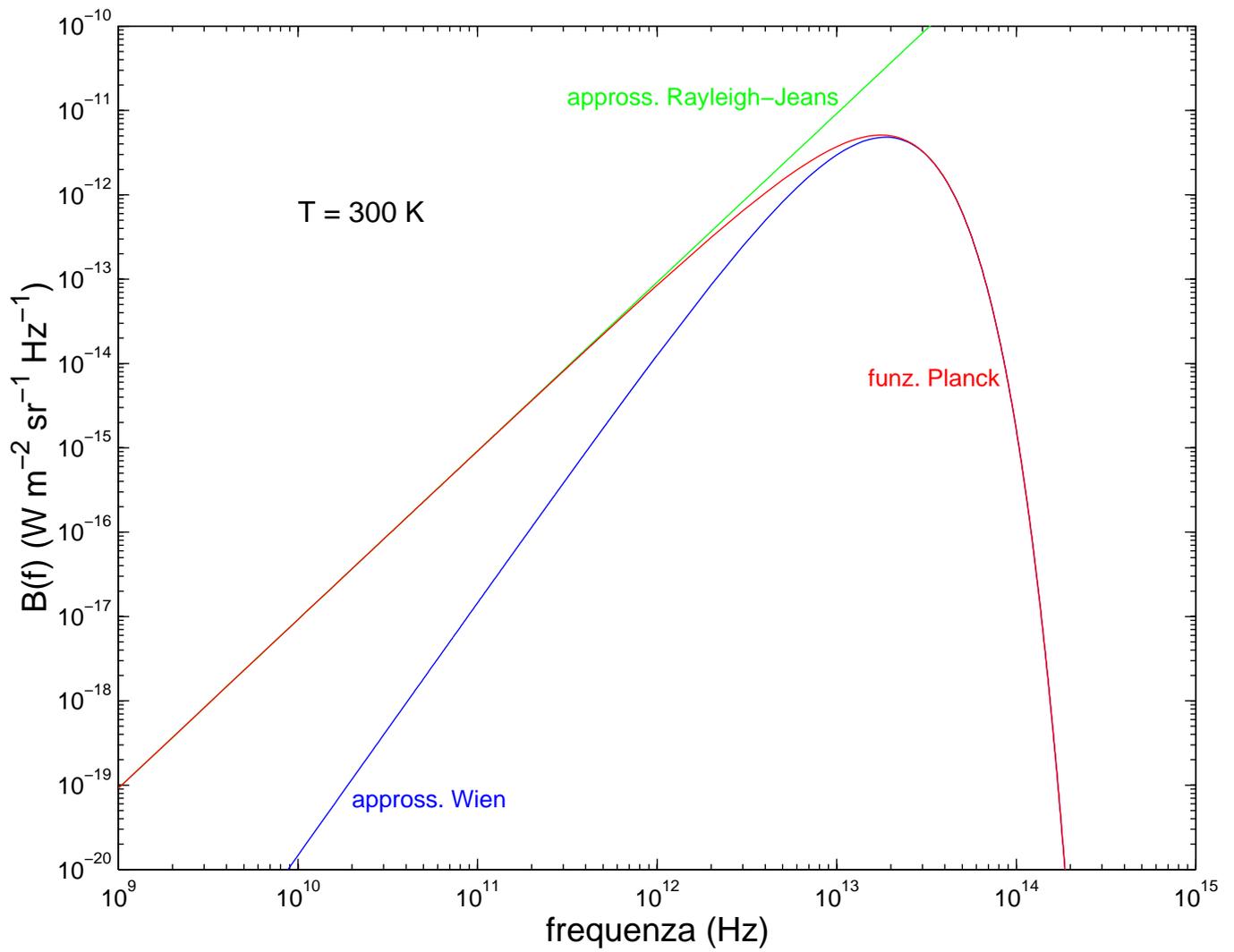
$$J(f, \theta, \phi, T) = \left| \frac{d\lambda}{df} \right| J(\lambda, \theta, \phi, T) \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ sr Hz}} \right]$$

temperatura di brillanza:

$$T_B(f, \theta, \phi, T) = \frac{J(f, \theta, \phi, T)c^2}{2kf^2} \quad [\text{K}]$$

temperatura di corpo nero per avere stessa
brillanza di mezzo osservato in direzione θ, ϕ





emissività spettrale:

$$e_f(f, \theta, \phi) = \frac{\mathcal{J}(f, \theta, \phi, T)}{B(f, T)} \simeq \frac{T_B(f, \theta, \phi, T)}{T}$$

$$T_B(f, \theta, \phi, T) = e_f(f, \theta, \phi) T$$

temperatura di brillantezza legata linearmente a
temperatura termodinamica

(per approssimazione di Rayleigh-Jeans,
non a IR per legame non lineare tra \mathcal{J} e T)

T_B : misurata da radiometri a μ onde
(generalmente $\ll T$)

- superficie: da T_B misurata si ricava e
(con altre informazioni su T)
proprietà fisiche e morfologiche
- atmosfera (a seconda di f):
 - nota $e \rightarrow T$ (sonda radiometrica)
 - nota $T \rightarrow e$ (densità gas o acqua)

sistemi VIS, IR: non sensibili a polarizzazione

sistemi μ onde: B, T_B, e in polarizzazione h e v
(valori diversi per diverse proprietà
mezzo osservato \rightarrow importante
contenuto informativo)