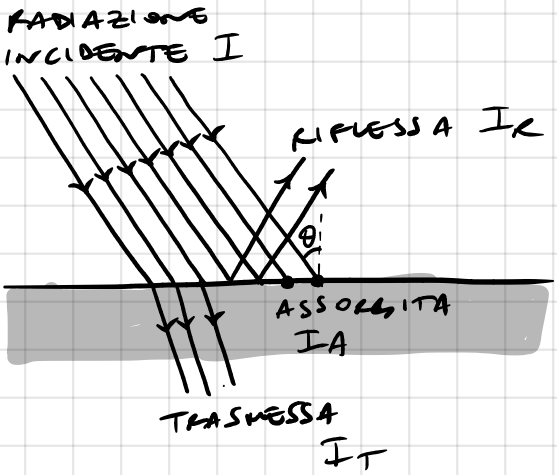
LEZIONE 14

20/11/20

CONDUZIONE E CONVEZIONE → TRASPORTO DI CALORE PER MEZZO DI MATERIA

CALORE PUÒ TRASMETTERSI TRA DUE CORPI ANCHE SE SEPARATI DAL VUOTO (ES. SOLE → TERRA)

→ ENERGIA TRASPORTATA DA RADIAZIONE (ONDE ELETTRO-MAGNETICHE)



$$I = I_T + I_R + I_A$$

$$1 = \frac{I_T}{I} + \frac{I_R}{I} + \frac{I_A}{I}$$

$$\frac{I_T}{I} = t(\lambda, \theta) \quad \text{TRASMITTANZA}$$

$$\frac{I_R}{I} = r(\lambda, \theta) \quad \text{RIFLETTANZA}$$

$$\frac{I_A}{I} = a(\lambda, \theta) \quad \text{ASSORBANZA}$$

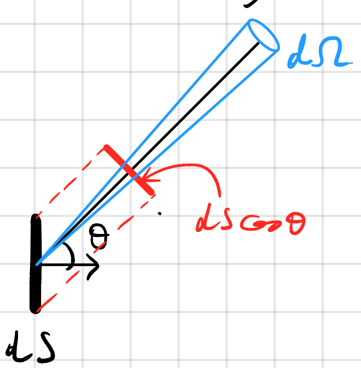
$$a + t + r = 1$$

CORPO NERO

$$a(\lambda, \theta) = 1 \Rightarrow t(\lambda, \theta) = r(\lambda, \theta) = 0$$

$$I(\lambda, \theta) = \frac{d\dot{Q}}{\underbrace{dS\cos\theta}_{\text{SUPERFICIE NORMALE ALLA DIREZIONE DI EMISSIONE}}\,\underbrace{d\Omega}_{\text{ANGOLO SOLIDO}}\,\underbrace{d\lambda}_{\text{INTERVALLO DI LUNGHEZZE D'ONDA}}}$$

INTENSITÀ SPETTRALE DELLA RADIAZIONE EMESSA



UN CORPO ALLA TEMPERATURA T EMETTE RADIAZIONE CON UNA GENERICA INTENSITÀ SPETTRALE DIPENDENTE DAL MATERIALE

$$I(\lambda, \theta, T)$$

DUE CORPI DIVERSI MA ALLA STESSA T SCAMBIANO CALORE PER RADIAZIONE

POTENZA EMESSA DA 1 E ASSORBITO DA 2

$$\dot{Q}_{12} = I_1(\lambda, \theta_1, T)\, dS_1 \cos\theta_1\, d\lambda \underbrace{\frac{dS_2 \cos\theta_2}{d^2}}_{\text{ANGOLO SOLIDO SOTTO CUI 1 VEDE 2}} a_2(\lambda, \theta_2, T)$$

ANALOGAMENTE

$$\dot{Q}_{21} = I_2(\lambda, \theta_2, T)\, dS_2 \cos\theta_2\, d\lambda \frac{dS_1 \cos\theta_1}{d^2} a_1(\lambda, \theta_1, T)$$

EQUILIBRIO

$\Downarrow$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{Q}_{21} \Rightarrow I_1(\lambda, \theta_1, T)\, a_2(\lambda, \theta_2, T) = I_2(\lambda, \theta_2, T)\, a_1(\lambda, \theta_1, T)$$

$$\frac{I_1(\lambda, \theta_1, T)}{a_1(\lambda, \theta_1, T)} = \frac{I_2(\lambda, \theta_2, T)}{a_2(\lambda, \theta_2, T)} = I_B(\lambda, T)$$

$\forall \theta_1, \theta_2$

DIPENDE SOLO DA λ E T

$I(\lambda,\theta,T) = a(\lambda,\theta,T)\, I_B(\lambda,T)$

CORPO NERO $a(\lambda,\theta) = 1 \Rightarrow I(\lambda,\theta,T) = I_B(\lambda,T)$

$I_0(\lambda,T)$ = INTENSITÀ SPETTRALE DELLA RADIAZIONE DI UN CORPO NERO ALLA TEMPERATURA T (ISOTROPA! NON DIPENDE DA θ)

EMISSIVITÀ $\varepsilon(\lambda,\theta,T) = \dfrac{I(\lambda,\theta,T)}{I_B(\lambda,T)}$

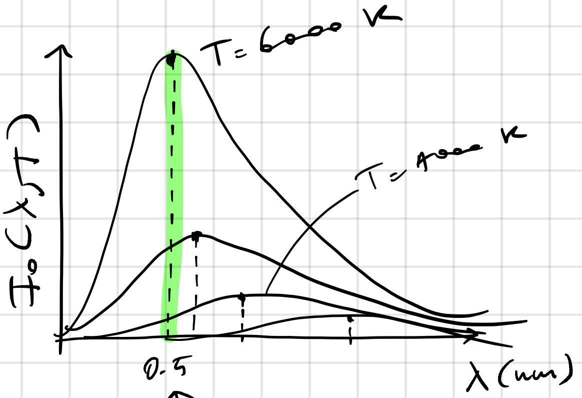
ABBIAMO SOPRA DIMOSTRATO TEOREMA DI KIRCHHOFF: $\varepsilon(\lambda,\theta,T) = a(\lambda,\theta,T)$

EMISSIVITÀ = ASSORBANZA

PLANCK FORMULA

COSTANTE DI PLANCK $6.6\ 10^{-34}\ J \cdot s$

$$I_B(\lambda,T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5\left[e^{hc/\lambda k_B T} - 1\right]} \quad \left(\frac{W}{m^2\ sr\ \mu m}\right)$$



LEGGE DI WIEN

$\lambda_{max} T = 2898\ \mu m \cdot K = 3\ mm \cdot K$

SOLE $T \sim 6000$ K (SUPERFICIE)

$$\lambda_{max} = \frac{3\ 10^{-3}\ m\ \cancel{K}}{6\ 10^{3}\ \cancel{K}} = 0.5\ \mu m$$

VERDE

$$T = 300\ \text{K} \rightarrow \lambda_{max} = \frac{3\ 10^{-3}\ \text{K m}}{3\ 10^{2}\ \text{K}} = 10\ \mu\text{m} \quad \text{IR}$$

INFRARED CAMERA
PER SMARTPHONE
BANDA SPETTRALE 8–14 μm

POTENZA PER UNITÀ DI SUPERFICIE
IRRAGGIATA DA UN CORPO NERO

$$E_b(T) = \int I_B(\lambda,T)\cos\theta\,\underbrace{\operatorname{sen}\theta\,d\theta\,d\varphi}_{d\Omega}\,d\lambda = \pi\int I_B(\lambda,T)\,d\lambda = \sigma T^4$$

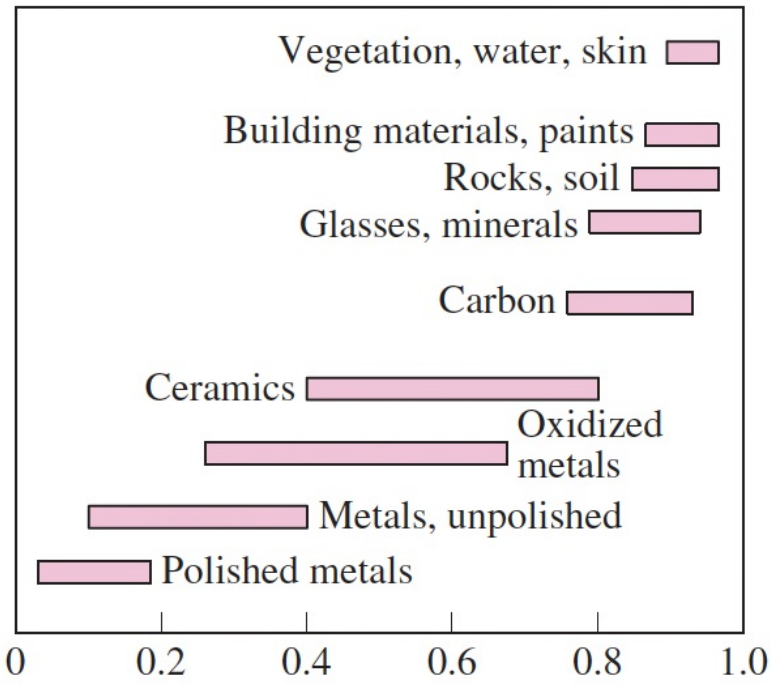
W/m²

σ = COSTANTE STEFAN-BOLTZMANN $= 5{,}67\ 10^{-8}\ \dfrac{\text{W}}{\text{m}^2\,\text{K}^4}$

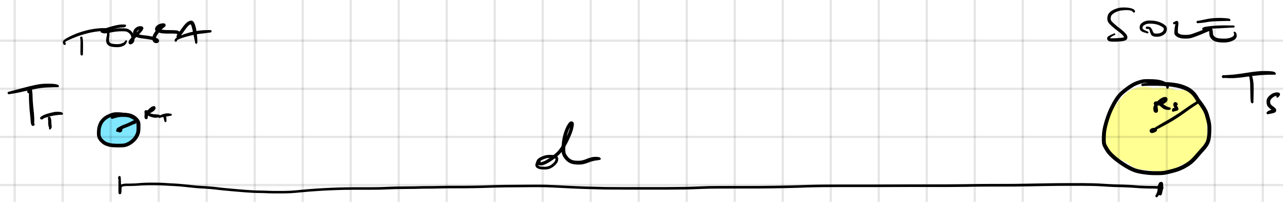
PER UN CORPO GENERICO

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{\int \overbrace{\varepsilon(\lambda,\theta,T)\,I_b(\lambda,T)}^{I(\lambda,\theta,T)}\cos\theta\,d\Omega\,d\lambda}{\sigma T^4}$$

EMISSIVITÀ
TOTALE



BILANCIO TERMICO DI UN PIANETA



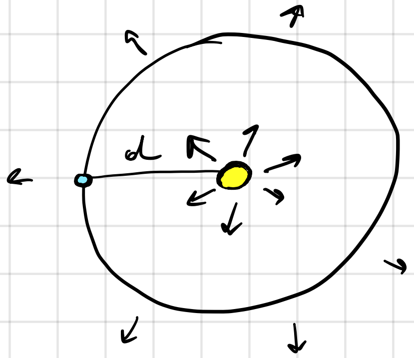
TRATTIAMO ENTRAMBI COME CORPI NERI

$$\dot Q_T = S_T E_B(T_T) = 4\pi R_T^2 \sigma T_T^4$$

POTENZA IRRAGGIATA DALLA TERRA

POTENZA IRRAGGIATA DAL SOLE $\rightarrow \dot Q_S = 4\pi R_S^2 \sigma T_S^4$

FRAZIONE DI $\dot Q_S$ CHE INCIDE SULLA TERRA



$$\dot Q_I = \frac{\dot Q_S}{4\pi d^2}\pi R_T^2 = \frac{\cancel{4\pi} R_S^2 \sigma T_S^4 \pi R_T^2}{\cancel{4\pi} d^2} = \sigma T_S^4 \left(\frac{R_S}{d}\right)^2 \pi R_T^2$$

$\dot Q_I = \dot Q_T$ EQUILIBRIO

$$\cancel{\sigma} T_S^4 \left(\frac{R_S}{d}\right)^2 \cancel{\pi R_T^2} = 4\cancel{\pi R_T^2}\,\cancel{\sigma}\, T_T^4$$

$$T_T = T_S\sqrt{\frac{R_S}{2d}} = T_S\sqrt{\frac{\theta}{4}} = 6000\sqrt{\frac{10^{-2}}{4}}\ K = 300\ K\ !$$

$\theta = \frac{2R_S}{d}$ = DIAMETRO ANGOLARE DEL SOLE $\sim 0.5° = 10^{-2}$ rad

$R_S = 695\ 10^3$ km

$d = 150\ 10^6$ km

COINCIDENZA DOVUTA ALLA COMPENSAZIONE DI 2 ERRORI

1) LA TERRA RIFLETTE 30% DI $\dot Q_I$

2) EFFETTO SERRA DOVUTO ALL'ATMOSFERA

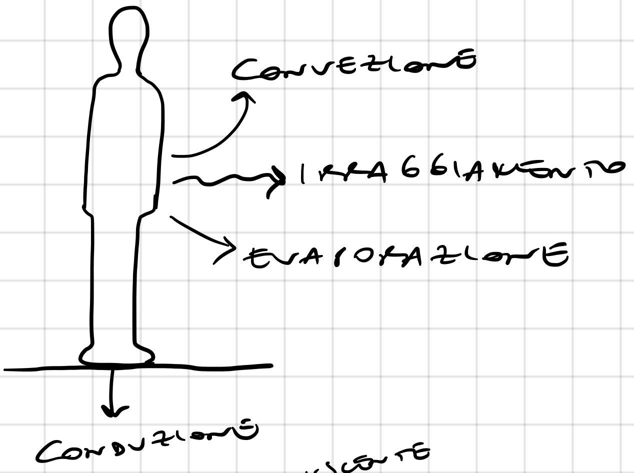
POSSIAMO FACILMENTE CORREGGERE 1) MOLTIPLICANDO $\dot Q_I \times (1-a)$ ALBEDO

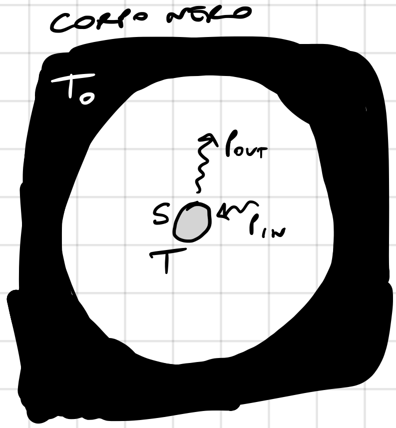
$$T_x = T_S(1-a)^{1/4}\sqrt{\frac{R_S}{2d}}$$

TERRA $a = 0.3$ — $T = 255\ K$ (NO SERRA $288\ K$)

MERCURIO $a = 0.1$, $d = 58\ 10^6$ — $T = 437\ K$ ($440\ K$)

BILANCIO TERMICO DEL CORPO UMANO





$$\dot Q_{OUT} = \varepsilon \sigma T^4 S$$

$$\dot Q_{IN} = \underset{\varepsilon}{\underset{\parallel}{a}} \sigma T_0^4 S$$

$$\overset{\text{calore uscente}}{\dot Q} = \dot Q_{OUT} - \dot Q_{IN} = \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) S$$

$$\Delta T = T - T_0 \qquad T^4 - T_0^4 = \Delta T^4 = 4\, \overset{\sim T}{T_0}\, \Delta T$$

$$\dot Q_R = 4 \varepsilon \sigma \bar T^3 S (T - T_0) = h_R (T - T_0) S$$

$$h_R = 4 \varepsilon \sigma \bar T^3 \sim 5 \frac{W}{m^2 K} \qquad h_c \sim 5 \frac{W}{m^2 K}$$

CONVEZIONE

$\dot Q_M$ = CALORE PRODOTTO METABOLISMO → TEMPERATURA AMBIENTE IDEALE A RIPOSO?

- 100 W A RIPOSO
- 1000 W ATTIVITÀ FISICA

CORPO NUDO $\dot Q = (h_c + h_R) S \Delta T$

CONDIZIONE IDEALE

$$\dot Q = \dot Q_M \Rightarrow \Delta T = \frac{\dot Q_M}{(h_c + h_R) S} = \frac{100\ \cancel{W}\ \cancel{m^2} K}{10\ \cancel{W}\ 2\ \cancel{m^2}} = 5\ K$$

TEMPERATURA PELLE
(IN CONDIZIONI CONFORTEVOLI)

PELLE AMBIENTE

$$\Delta T = T - T_0 \qquad T_0 = T - \Delta T = 33 - 5\ °C = 28\ °C$$

BLOCCANDO CONVEZIONE (COPERTE, INDUMENTI)

$h_c \sim 0 \qquad \Delta T = 10\ °C \rightarrow T_0 = 23\ °C$