

Scambio termico per irraggiamento

Principi di Ingegneria Chimica Ambientale

Riflettanza, trasparenza e assorbanza

Se indichiamo con I l'intensità della radiazione (ossia l'energia incidente per unità di tempo sull'unità di superficie), per la conservazione dell'energia si ha:

porzione riflessa

porzione assorbita

$$I = I_R + I_T + I_A$$

porzione trasmessa

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

$$r = \frac{I_R}{I}$$

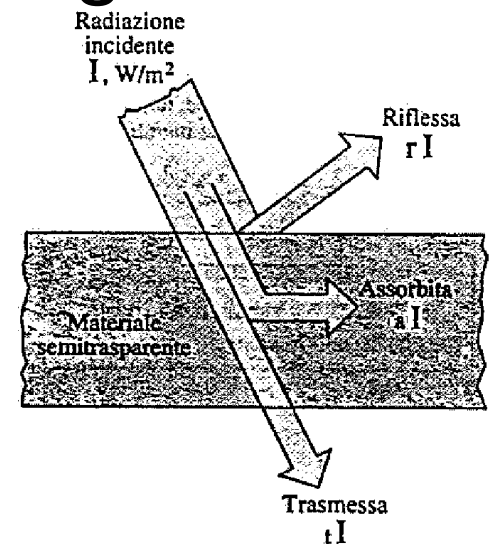
r =riflettanza (=1 per un corpo *perfettamente riflettente*)

$$t = \frac{I_T}{I}$$

t =trasparenza (=1 per un corpo *perfettamente trasparente*)

$$a = \frac{I_A}{I}$$

a =assorbanza (=1 per un corpo *perfettamente assorbente*)



Corpo nero

Si dice che un corpo è **nero** se esso assorbe tutta la radiazione incidente: $a=1$

La quantità di calore che un corpo nero irraggia nell'unità di tempo è descritta dalla legge di *Stefan Boltzmann*:

$$\dot{Q}=S \sigma T^4$$

In cui S è la superficie del corpo nero,

T è la sua temperatura (in Kelvin) e

σ è una costante (*costante di Stefan Boltzmann*) che vale

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

Emittività e Corpo Grigio

Qualunque corpo (non nero) emette solo una porzione del calore emesso da un corpo nero alla stessa temperatura:

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

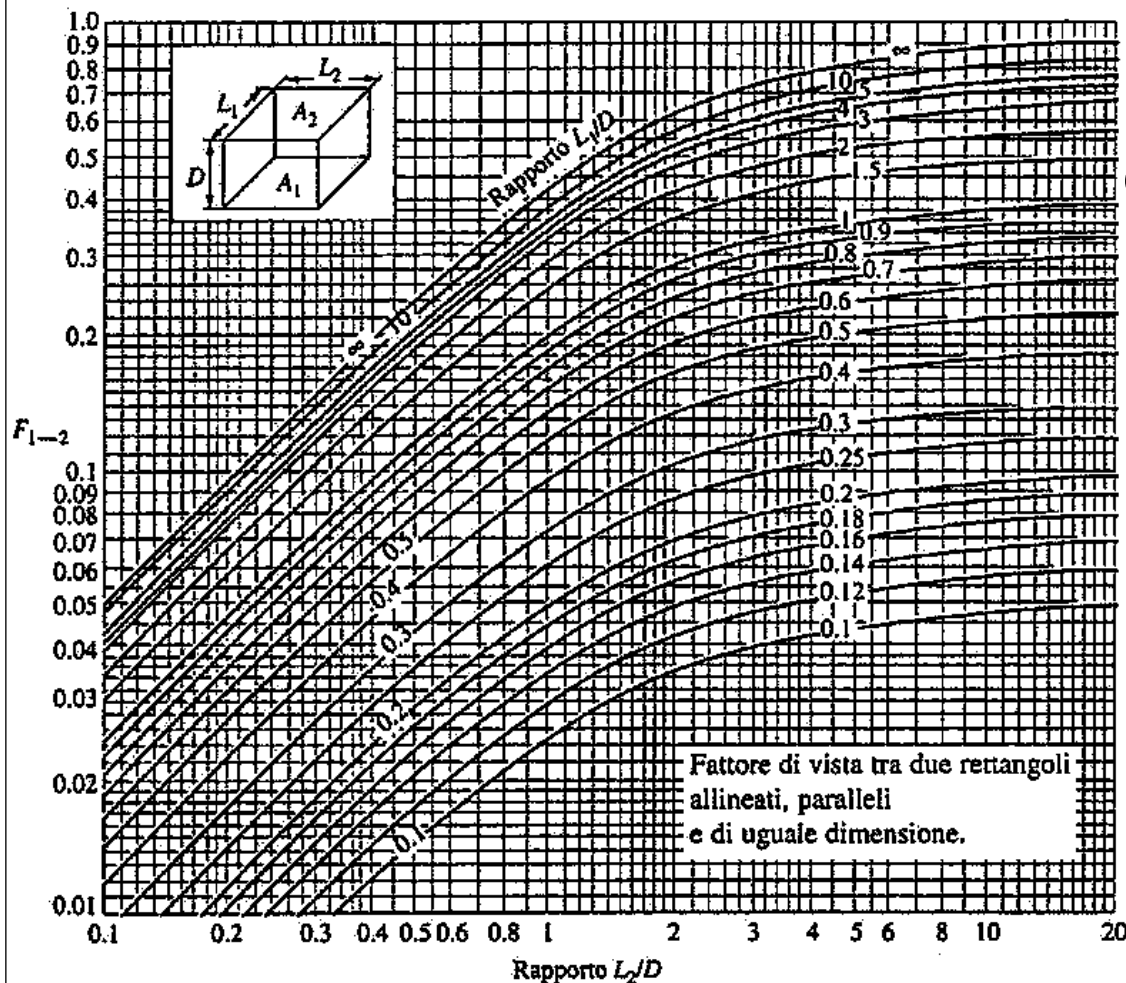
dove ε è l'emittività ed è una proprietà del corpo, ha un valore compreso fra 0 e 1 ed è una funzione della temperatura

Si può dimostrare che per ogni corpo l'emittività e l'assorbanza alla stessa temperatura sono uguali (*legge di Kirchoff*)

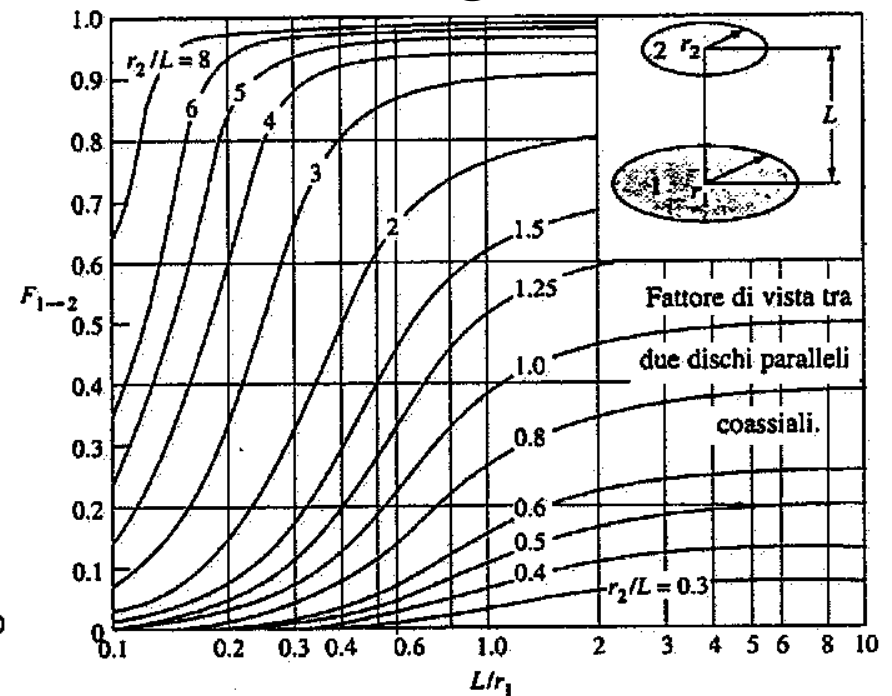
Il corpo grigio è un corpo (ideale) per il quale l'emittività non è funzione della temperatura

Il Fattore di vista

Il fattore di vista $F_{1 \rightarrow 2}$ rappresenta la frazione dell'area del corpo 1 vista da un corpo 2, e quindi è la frazione della radiazione che parte da 1 e intercetta 2



Esistono delle tabelle per calcolare i fattori di vista in varie configurazioni



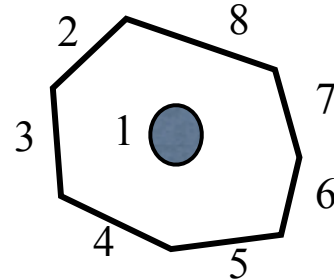
Il Fattore di vista

Per i fattori di vista vale la seguente *regola di reciprocità*:

$$S_1 F_{1 \rightarrow 2} = S_2 F_{2 \rightarrow 1}$$

Inoltre, se un corpo 1 è completamente circondato da n aree:

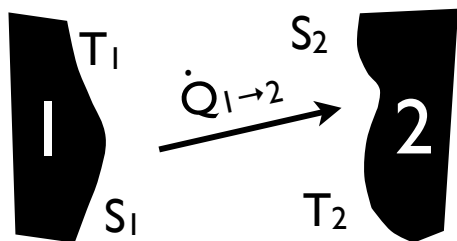
$$\sum_{i=1}^n F_{1 \rightarrow i} = 1$$



Oss.: per un corpo concavo $F_{1 \rightarrow 1} \neq 0$

Lo scambio netto di energia radiante fra due corpi neri vale

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{1 \rightarrow 2} &= S_1 F_{1 \rightarrow 2} (T_1^4 - T_2^4) \\ \dot{Q}_{2 \rightarrow 1} &= S_2 F_{2 \rightarrow 1} (T_2^4 - T_1^4) = -\dot{Q}_{1 \rightarrow 2} \end{aligned}$$



Flusso radiativo per corpi grigi

La quantità di energia in uscita da un corpo grigio (per unità di superficie) è detta **flusso radiativo** ed è dovuta alla somma della quantità emessa più quella riflessa

$$q_{1,out} = \varepsilon \sigma T_1^4 + (1 - \varepsilon) q_{1,in} \Rightarrow q_{1,in} = \frac{q_{1,out} - \varepsilon \sigma T_1^4}{1 - \varepsilon}$$

il **flusso radiativo** netto è dato da

$$q_{1,netto} = q_{1,out} - q_{1,in} = \varepsilon (\sigma T_1^4 - q_{1,in})$$

che può anche scriversi

$$q_{1,netto} = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} (\sigma T_1^4 - q_{1,out})$$

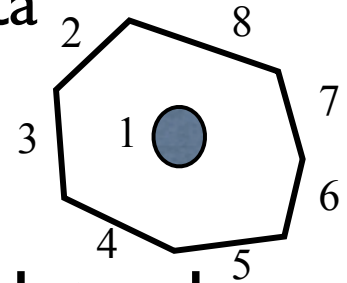
la **portata radiativa** netta, in uscita da I, è data da

$$\dot{Q}_{1,netto} = \frac{\varepsilon_1 S_1}{1 - \varepsilon_1} (\sigma_1 T_1^4 - q_{1,out})$$

Flusso radiativo per corpi grigi

Se un corpo scambia con N superfici (incluso se stesso), la quantità di calore in ingresso è uguale alla somma di quelle emesse da tutte le altre superfici, moltiplicate per i fattori di vista

$$\dot{Q}_{1,in} = S_1 q_{1,in} = \sum_{i=1}^N S_i q_{i,out} F_{i \rightarrow 1} = \sum_{i=1}^N S_1 q_{i,out} F_{1 \rightarrow i} = S_1 \sum_{i=1}^N q_{i,out} F_{1 \rightarrow i}$$



quindi il **flusso radiativo** netto è anche dato da

$$q_{1,netto} = q_{1,out} - q_{1,in} = q_{1,out} - \sum_{i=1}^N q_{i,out} F_{1 \rightarrow i} = \sum_{i=1}^N (q_{1,out} F_{1 \rightarrow i} - q_{i,out} F_{1 \rightarrow i}) \quad \text{Oss.: } \sum_{i=1}^N (q_{1,out} F_{1 \rightarrow i}) = q_{1,out}$$

la **portata radiativa** netta si può quindi scrivere

$$\dot{Q}_{1,netto} = S_1 q_{1,netto} = \sum_{i=1}^N (q_{1,out} - q_{i,out}) S_1 F_{1 \rightarrow i}$$

se “1” scambia solo con “2” (ci sono solo 2 corpi)

$$\dot{Q}_{1,netto} = S_1 F_{1 \rightarrow 2} (q_{1,out} - q_{2,out})$$

Scambio radiativo tra 2 corpi grigi

La portata di energia radiante scambiata fra due corpi grigi si può scrivere in uno dei seguenti modi:

$$\dot{Q}_{1-2,netto} = \frac{\varepsilon_1 S_1}{1-\varepsilon_1} (\sigma T_1^4 - q_{1,out})$$

$$\dot{Q}_{1-2,netto} = -\frac{\varepsilon_2 S_2}{1-\varepsilon_2} (\sigma T_2^4 - q_{2,out})$$

$$\dot{Q}_{1-2,netto} = S_1 F_{1-2} (q_{1,out} - q_{2,out})$$

che risolte forniscono:

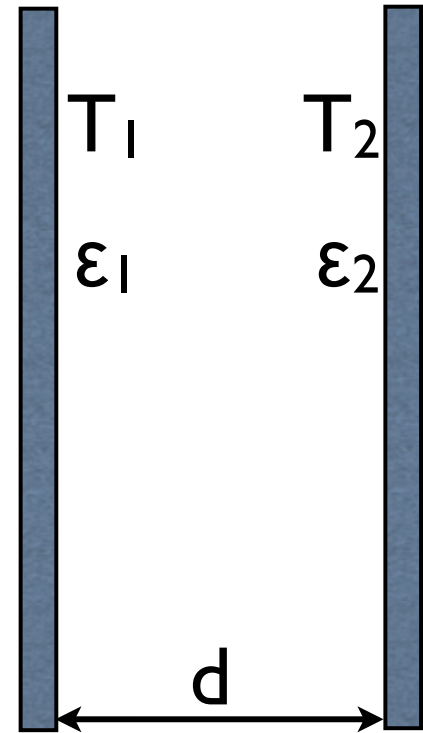
$$\dot{Q}_{1-2,netto} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 S_1} + \frac{1}{S_1 F_{1-2}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 S_2}}$$

se i due corpi scambiano solo fra di loro, la portata netta uscente dall'uno va a finire nell'altro e viceversa

Scambio radiativo tra corpi grigi superfici piane parallele

se $d \ll \sqrt{S}$ allora $F_{1 \rightarrow 2} = 1$

$$\dot{Q}_{1-2,netto} = \frac{S\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

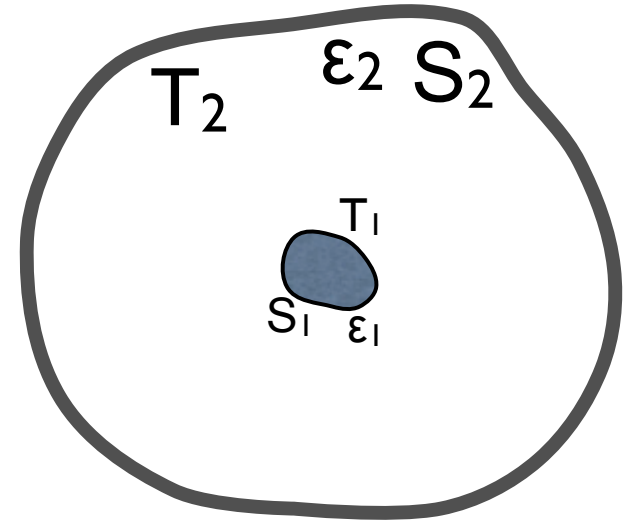


Scambio radiativo tra corpi grigi

corpo immerso in una cavità

se $S_1 \ll S_2$ e $F_{1 \rightarrow 2} = 1$

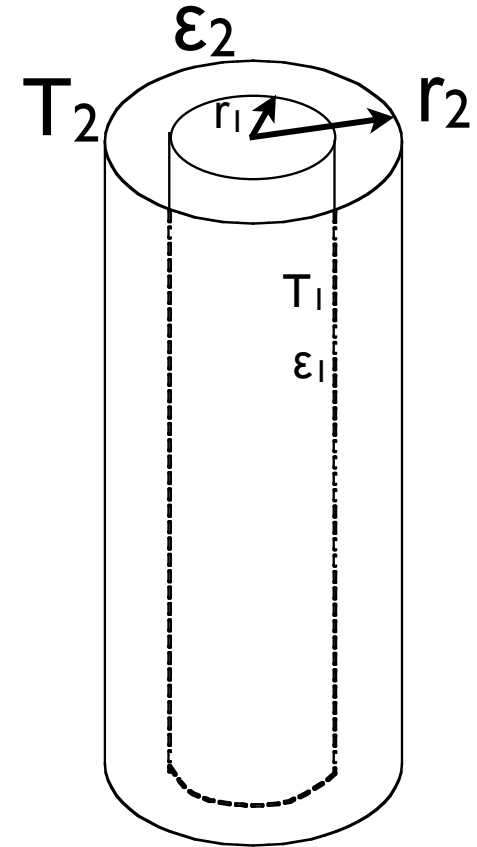
$$\dot{Q}_{1-2,netto} = \varepsilon_1 S_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$



Scambio radiativo tra corpi grigi cilindri concentrici

se $r_1 \ll L$ allora $F_{1 \rightarrow 2} = 1$

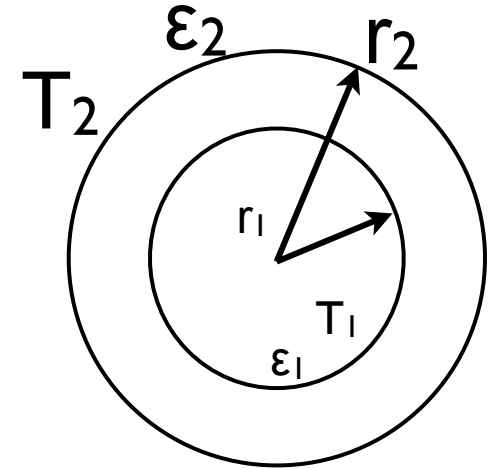
$$\dot{Q}_{1-2,netto} = \frac{S_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)}$$



Scambio radiativo tra corpi grigi sfere concentriche

$$F_{1 \rightarrow 2} = 1$$

$$\dot{Q}_{1-2,netto} = \frac{S_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2}$$



Energia irradiata dal SOLE

La quantità di energia irradiata dal sole, che ha una T di circa 6000K, che arriva sulla Terra è di circa 1350W/m^2

Circa il 25% di tale energia viene assorbita dall'atmosfera

La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre è pertanto pari a circa 1000W/m^2