



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## Lezione 09 - Trasmissione del calore

**Corso di Fisica Tecnica**  
**a.a. 2019-2020**

***Prof. Gaël R. Guédon***  
Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

## Obiettivi della lezione

- Introduzione alla **trasmissione del calore**
- Definire i **concetti base**

***La trasmissione del calore si occupa dello studio dell'insieme delle leggi che governano il passaggio di calore da un sistema ad un altro o da un punto ad un altro di uno stesso sistema, dei dispositivi coinvolti negli scambi di calore e delle leggi che danno la distribuzione di temperatura all'interno di un sistema in funzione dello spazio e del tempo.***



### ***Obiettivi della seconda parte del corso:***

- ***Determinare il calore scambiato tra un punto ed un altro***
- ***Determinare la distribuzione di temperatura nei vari punti ed eventualmente la sua variazione nel tempo***

## Concetti base: calore scambiato

Nel **caso generale**, la quantità di **calore** scambiata tra due sistemi,  $Q$ , durante un **intervallo di tempo**,  $\Delta t$ , è data dall'integrale temporale della **potenza istantanea**,  $\dot{Q}$ , tra l'istante  $t$  e l'istante  $t + \Delta t$

$$Q = \int_t^{t+\Delta t} \dot{Q} dt$$

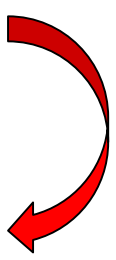
Nel **caso particolare** in cui  $\dot{Q} = \text{costante} \rightarrow Q = \dot{Q} \cdot \Delta t$

## Concetti base: flusso termico

Si definisce **FLUSSO TERMICO** la potenza riferita ad una superficie di area unitaria. Il flusso termico medio su una superficie si esprime come:

$$J = \frac{\dot{Q}}{A} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad \begin{array}{l} \text{FLUSSO TERMICO} \\ \text{AREICO} \end{array}$$

**Esempio:**


$$\begin{aligned} A &= 6 \, m^2 \\ \dot{Q} &= 24 \, W = \text{costante} \\ J &= \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{24 \, W}{6 \, m^2} = 4 \frac{W}{m^2} \end{aligned}$$

**Concetti base: flusso termico**

Il **FLUSSO TERMICO** può essere definito dalla relazione:

$$J = f(\text{parametro}, \Delta T) \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**parametro:** coefficiente che tiene conto della maggiore o minore facilità con la quale, a parità di  $\Delta T$ , ha luogo il trasferimento di calore (resistenza, conduttanza, trasmittanza)

$\Delta T$ : differenza di temperatura

## Concetti base: la conduzione

E' il trasferimento di energia che si verifica per effetto dell'interazione delle particelle di una sostanza dotata di maggiore energia con quelle adiacenti dotate di minore energia.

Può avvenire

- nei liquidi
- nei solidi
- nei gas

$$\vec{J} = -k \nabla T$$

$$\nabla T \rightarrow \text{grad} T$$

**POSTULATO DI FOURIER**

**ESEMPIO:** potenza termica trasmessa per conduzione attraverso una lastra piana indefinita di spessore costante

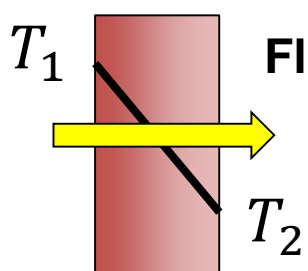
Potenza termica [W]  $\rightarrow \dot{Q}_{COND} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$

Conduttività termica [W/mK]  $\rightarrow k$

Superficie normale [m<sup>2</sup>]  $\rightarrow A$

Spessore [m]  $\rightarrow \Delta x$

Differenza di temperatura [K o °C]  $\rightarrow \Delta T$



$T_1$   $T_2$  **Flusso di calore**



## Concetti base: la convezione

E' il trasferimento di energia tra una superficie solida e un fluido adiacente in movimento.

- Implica gli effetti combinati di conduzione e trasporto di massa;
- Il calore trasmesso per convezione aumenta con la velocità del fluido.

### CONVEZIONE FORZATA

Avviene quando il fluido è forzato a scorrere su una superficie da mezzi esterni (ad esempio un ventilatore).

### CONVEZIONE NATURALE (O LIBERA)

Avviene quando il moto del fluido è causato da forze ascensionali che sono indotte dalle differenze di densità dovute alla variazione di temperatura del fluido in un campo gravitazionale.

## Concetti base: la convezione

La potenza termica trasmessa per convezione è espressa dalla relazione:

$$\vec{J} = h(T_p - T_\infty)$$

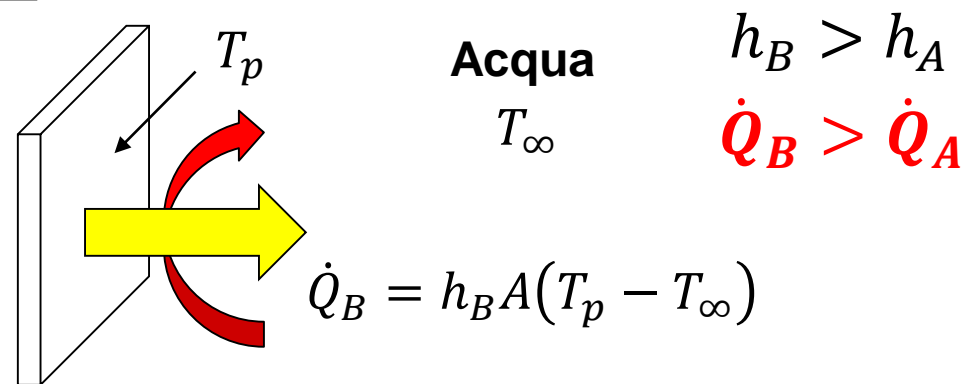
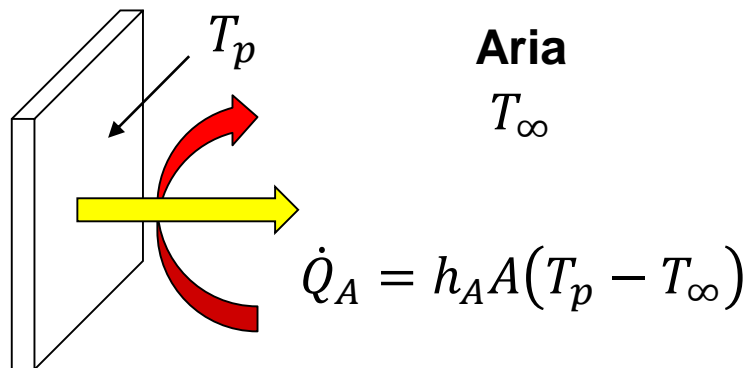
**LEGGE DI NEWTON**

$h$  = coefficiente di scambio termico convettivo [ $W/m^2K$ ]

$T_p$  = temperatura della parete solida [ $K$ ]

$T_\infty$  = temperatura del fluido [ $K$ ]

**ESEMPIO:** potenza termica trasmessa per convezione da una lastra piana indefinita lambita da aria oppure acqua



## Concetti base: l'irraggiamento

E' il trasferimento di energia che avviene attraverso le onde elettromagnetiche (o fotoni) prodotte da variazioni nelle configurazioni elettroniche degli atomi e delle molecole.

Ad esempio, il sole trasferisce l'energia alla terra per irraggiamento

- Non richiede la presenza di un mezzo interposto (quindi avviene anche nel vuoto)
- Avviene alla velocità della luce
- Tutti i corpi a temperatura superiore allo zero assoluto (0 K) emettono radiazione termica

La potenza massima termica trasmessa per irraggiamento da una superficie a temperatura assoluta  $T_s$  [K] è data dalla LEGGE DI STEFAN BOLTZMANN

**LEGGE DI STEFAN BOLTZMANN**

La legge di Stefan Boltzmann afferma che la potenza trasmessa da un'area  $A$  di un corpo ideale (detto **CORPO NERO**) è

$$\dot{Q}_{e,max} = \sigma_0 A (T_s)^4$$

Dove  $\sigma_0 = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  è la costante di Stefan Boltzmann

**POTENZA EMESSA PER IRRAGGIAMENTO**

La potenza emessa per irraggiamento da una qualsiasi superficie reale è invece data dalla relazione

$$\dot{Q}_e = \epsilon \sigma_0 A (T_s)^4$$

$\epsilon$  = Emissività della superficie il cui valore, compreso tra 0 e 1, è la misura di quanto il comportamento di una superficie si approssima a quella del corpo nero, per il quale  $\epsilon = 1$

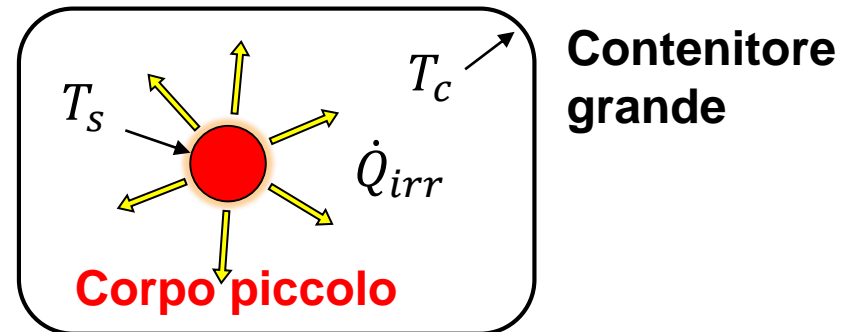
Poiché nei corpi reali non tutta la radiazione elettromagnetica incidente viene riflessa si definisce come

### POTENZA TERMICA NETTA PER IRRAGGIAMENTO

la differenza tra la potenza termica radiante emessa e quella assorbita da una superficie.

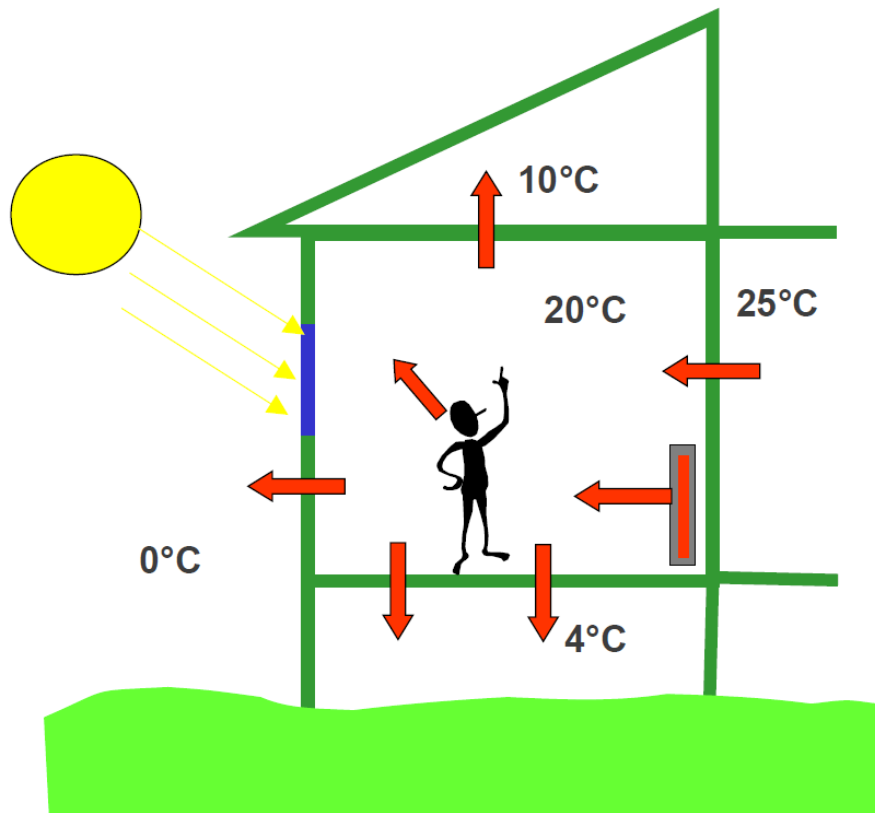
La determinazione della potenza termica netta scambiata è complessa in quanto dipende da numerosi fattori quali:

- Proprietà delle superfici
- Orientamento relativo
- Caratteristiche del mezzo tra le due superfici che irradiano



Il caso di una superficie piccola è semplice:  $\dot{Q}_{irr} = \epsilon \sigma_0 A (T_s^4 - T_c^4)$

## Esempio di bilancio energetico **SISTEMA UOMO-EDIFICIO-AMBIENTE**



### Modalità di trasmissione del calore

**SOLE:** solo irraggiamento

**PARETE:** conduzione, convezione, irraggiamento

**UOMO:** conduzione, convezione, irraggiamento

**CORPO SCALDANTE:** convezione, irraggiamento