



# Fisica Tecnica (Modulo 1)- LM4

## Fisica Tecnica – L23

A.A. 2021-2022





# Lezione n. 16

## Convezione termica naturale



**Convezione naturale:** moto del fluido innescato da **cause naturali** (forze di galleggiamento).

Es. **Scambi termici** all'interno degli edifici tra le **pareti** degli ambienti e l'**aria**.

ES. **Scambio termico** tra **corpo scaldante** e **aria**: gli **strati d'aria** a diretto **contatto** con il corpo più caldo **si riscaldano per conduzione** e **diminuiscono di densità** → **movimento ascensionale** dell'aria che lascia il posto ad aria più fredda → **moto convettivo** generato esclusivamente da **cause naturali**.

**Forze di galleggiamento** (si manifestano nel caso di un corpo solido immerso in un fluido)

$$F_{gall} = \rho_{fluido} \cdot V \cdot g$$

**Spinta netta verso l'alto:**

$$F = (\rho_{fluido} - \rho_{corpo}) \cdot V \cdot g$$

**Densità dell'acqua dolce inferiore** a quella dell'**acqua di mare** → **lo stesso scafo**, per rimanere a galla, in acqua dolce **si immerge di più** che in acqua salata (forza di galleggiamento meno efficace).

Altro fenomeno dovuto alle **forze di galleggiamento: effetto camino** → evacuazione dei **fumi** prodotti dalla **combustione in caldaia** di un impianto di riscaldamento.

Spinta verso l'alto data dalla **differenza di densità** tra i **fumi caldi** e l'**aria esterna** più fredda.

Nei **fluidi** la **densità dipende** in modo significativo **dalla temperatura**.

**Coefficiente di dilatazione cubica**  $\beta$ :

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \cdot \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad [K^{-1}]$$

**Variazione relativa di densità** del fluido con la **temperatura** a **pressione costante**.

In funzione delle **variazioni finite** delle grandezze:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta T} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\rho_{\infty} - \rho}{T_{\infty} - T} \Rightarrow \rho_{\infty} - \rho = \rho \cdot \beta (T - T_{\infty})$$

$\rho_{\infty}$ : densità del fluido indisturbato

$T_{\infty}$ : temperatura del fluido indisturbato

**Hp:** fluido gassoso (modello di **gas ideale**) →  $\beta = \frac{1}{T}$

**Elevati valori di  $\beta$  → elevate variazioni di densità con la temperatura → Forze di galleggiamento più intense .**

**Differenza di temperatura tra fluido e parete: parametro di maggiore influenza sull'efficacia dello scambio termico ( $h_c$ ).**



**Incremento della differenza di temperatura tra corpo e fluido → scambi termici convettivi più efficaci.**

**Elevato coefficiente di dilatazione cubica  $\beta$  → incremento degli scambi convettivi.**

**Altro parametro importante: portata in massa del fluido.**

**Aumento della portata in massa → aumento della potenza termica scambiata.**

**Convezione forzata: portata regolata dall'organo meccanico**

**Convezione naturale: portata determinata dal bilancio tra forze di galleggiamento e forze d'attrito sia tra il corpo ed il fluido e tra i vari strati di fluido che strisciano l'uno sull'altro.**

**Elevate forze d'attrito → riduzione dell'entità dello scambio termico convettivo.**

**Soluzione** del problema della convezione naturale → utilizzo delle **equazioni del moto nello strato limite** (conservazione della massa e dell'energia e della quantità di moto)

**Equazione della q.d.m. modificata** rispetto alla convezione forzata per tener conto delle **forze di galleggiamento**.

**Soluzione analitica** del problema **non agevole** → **metodi numerici**.

Analogamente alla convezione forzata: **metodo sperimentale**, che fornisce dati da relazionare con **gruppi adimensionali**.

**Convezione naturale**: numero di Nusselt e numero di Prandtl sono gli stessi utilizzati nella convezione forzata.

**Numero di Reynolds** sostituito dal **Numero di Grashof**, che tiene conto delle forze di galleggiamento.

Numero di **Grashof**:  $Gr = \frac{\text{forze di galleggiamento}}{\text{forze viscosive}}$

$$Gr = \frac{g \cdot \Delta\rho \cdot V}{\rho \cdot \nu^2} = \frac{g \cdot V \cdot \rho \cdot \beta \cdot \Delta T}{\rho \cdot \nu^2} = \frac{g \cdot V \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty)}{\nu^2} \quad \left[ \frac{\frac{m}{s^2} \cdot m^3 \cdot \frac{1}{K} \cdot K}{\left(\frac{m^2}{s}\right)^2} = \frac{m^4}{s^2} \right]$$

L: grandezza lineare caratteristica del sistema →  $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2}$

Numero di **Grashof** indice del **regime di moto**.

**All'aumentare di Gr si passa da moto laminare a moto turbolento.**

Es: Convezione naturale di **aria su una lastra piana verticale: Grashof critico  $\sim 10^9$ .**

Soluzione del **problema convettivo naturale** con **relazioni empiriche** tra **gruppi adimensionali**:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n$$

**Nusselt** determinato **in funzione di Pr e Gr** una volta **note** la costante **C** e l'**esponente n**, desumibili da ripetute prove sperimentali.

Numero di **Raleigh Ra** (prodotto tra Gr e Pr) :

$$Ra = Gr \cdot Pr \Rightarrow Nu = C \cdot Ra^n$$

## Valori caratteristici dei coefficienti di scambio termico

Configurazione di scambio termico	
Aria in convezione naturale	6÷30
Aria in convezione forzata	30÷300
Acqua in convezione forzata	300÷12000
Acqua in ebollizione	3000÷60000
Vapore acqueo in condensazione	6000÷120000
Olio in convezione forzata	60÷700

### Convezione naturale tra aria e parete orizzontale (esempio: pavimento o solaio).

- Parete orizzontale, flusso ascendente:  $h_c = 2,32 \cdot (\Delta T)^{0,25}$
- Parete orizzontale, flusso discendente:  $h_c = 1,16 \cdot (\Delta T)^{0,25}$

**Flusso ascendente:** ambiente inferiore più caldo e superiore più freddo → temperature decrescenti dal basso verso l'alto → aria dell'ambiente inferiore a contatto con solaio più freddo → aumento di densità → moto convettivo verso il basso agevolato / aria dell'ambiente superiore a contatto con pavimento più caldo → diminuzione di densità → moto convettivo ascensionale agevolato.

**Flusso discendente:** ambiente inferiore più freddo e superiore più caldo → temperature crescenti dal basso verso l'alto → aria dell'ambiente inferiore a contatto con solaio più caldo → diminuzione di densità → moto convettivo ascensionale ostacolato / aria dell'ambiente superiore a contatto con pavimento più freddo → aumento di densità moto convettivo verso il basso ostacolato → in entrambi gli ambienti stratificazione dell'aria.