Lezione 6 — Pressione e temperatura

Pressione idrostatica · Pressure head · Pressione assoluta, atmosferica e manometrica · Scale di temperatura

4) Pressione: definizione e unità

La pressione è la forza normale esercitata per unità di superficie: $P = F / A$

Nel Sistema Internazionale: $1\ Pa = 1\ N/m^2$

Molto usati anche: kPa, bar, atm, mmHg (torr), inHg, psi e unità di colonna di fluido (mmH_2O, mH_2O)

1 atm	101 325 Pa	1.01325 bar	760 mmHg	14.696 psi
1 atm	10.333 mH_2O (4 ° C)	29.921 inHg	406.8 inH_2O (4 ° C)	

Una pressione espressa come altezza di colonna dipende dal fluido e, rigorosamente, dalle condizioni alle quali è definita la sua densità

Colonna di fluido in quiete

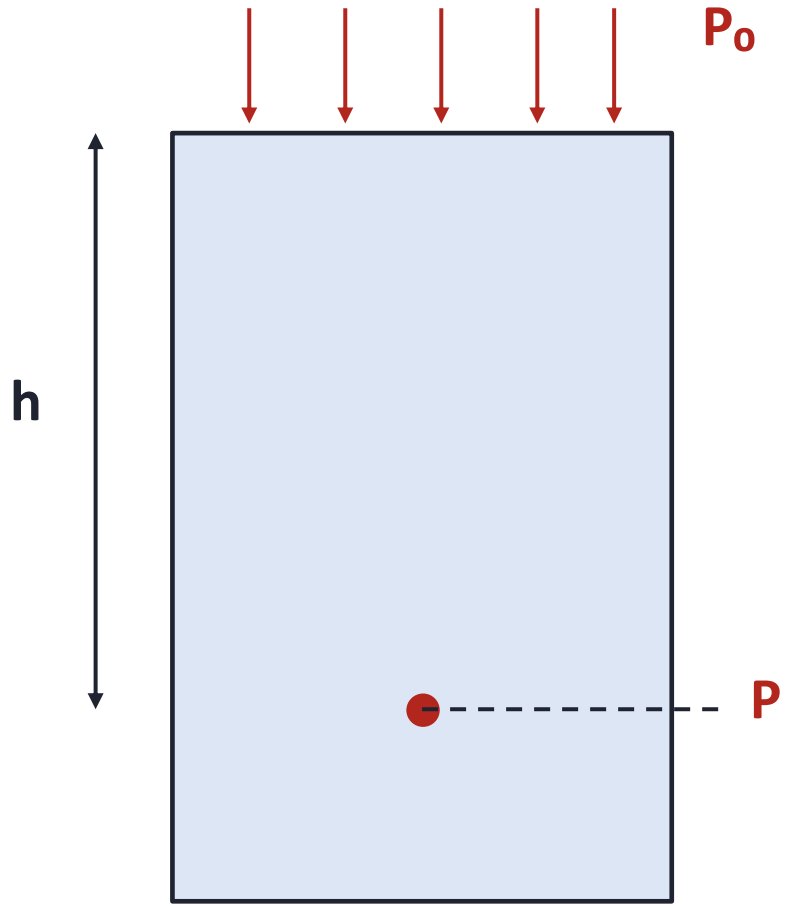
Liquido di densità ρ in quiete, con la superficie superiore alla pressione P_o; h = profondità misurata verso il basso dalla superficie

$$P(h) = P_o + \rho g h$$

La pressione aumenta linearmente con la profondità. Tra due punti separati verticalmente di Δh:

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

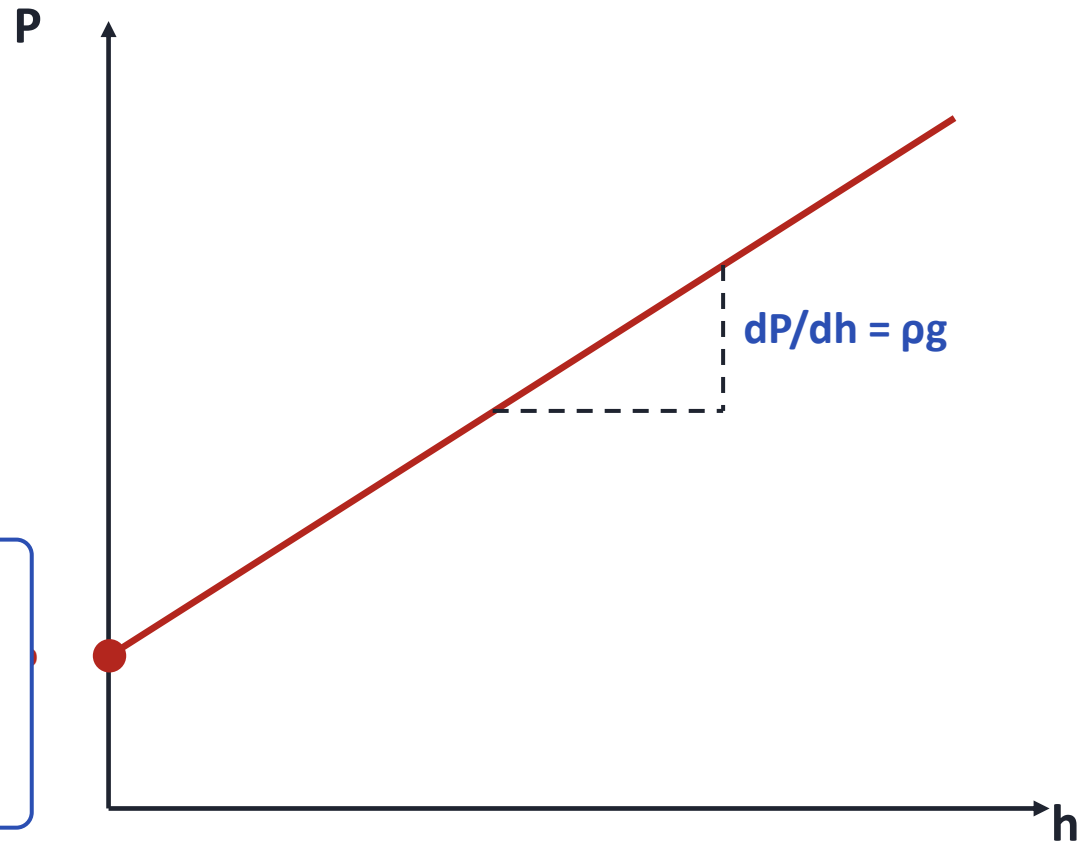
Relazione idrostatica fondamentale: scendendo ΔP > 0, salendo la pressione diminuisce



Il grafico P–h

Con h sull'asse orizzontale e P sull'asse verticale il grafico è una retta:

- intercetta a h = 0: $P = P_0$
- pendenza: $dP/dh = \rho g$
- a profondità h: $P = P_0 + \rho g h$



Se si usa una coordinata verticale z positiva verso l'alto: $dP/dz = -\rho g$. Non è una legge diversa: cambia solo il verso della coordinata

Pressione di testa (pressure head)

Due grandezze da tenere nettamente separate:

$\rho g h$
incremento (o differenza) di pressione idrostatica: ha le dimensioni di una PRESSIONE

$h = \Delta P / (\rho g)$
altezza equivalente di colonna di fluido: ha le dimensioni di una LUNGHEZZA

In idraulica l'altezza h equivalente a una data differenza di pressione si chiama pressure head (altezza di pressione, o pressione di testa espressa come altezza di colonna)

Per evitare ambiguità diciamo sempre: «incremento di pressione idrostatica» per ρgh, «pressure head» per h

mmHg, cmHg, mH_2O, mmH_2O: il nome dell'unità specifica quale fluido costituisce la colonna equivalente

Esempio 1: pressione equivalente in mmHg

Quale altezza di mercurio corrisponde a $P = 2.00 \times 10^5$ Pa? $\rho(Hg) = 13\,600$ kg/m³, $g = 9.807$ m/s²

$$h = \frac{P}{\rho(Hg)\, g} = \frac{2.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{(13\,600 \text{ kg/m}^3)(9.807 \text{ m/s}^2)} = 1.50 \text{ m} = \mathbf{1.50 \times 10^3 \text{ mmHg}}$$

Stiamo convertendo una differenza di pressione nella corrispondente altezza di una colonna di Hg

Pressione assoluta, atmosferica e manometrica

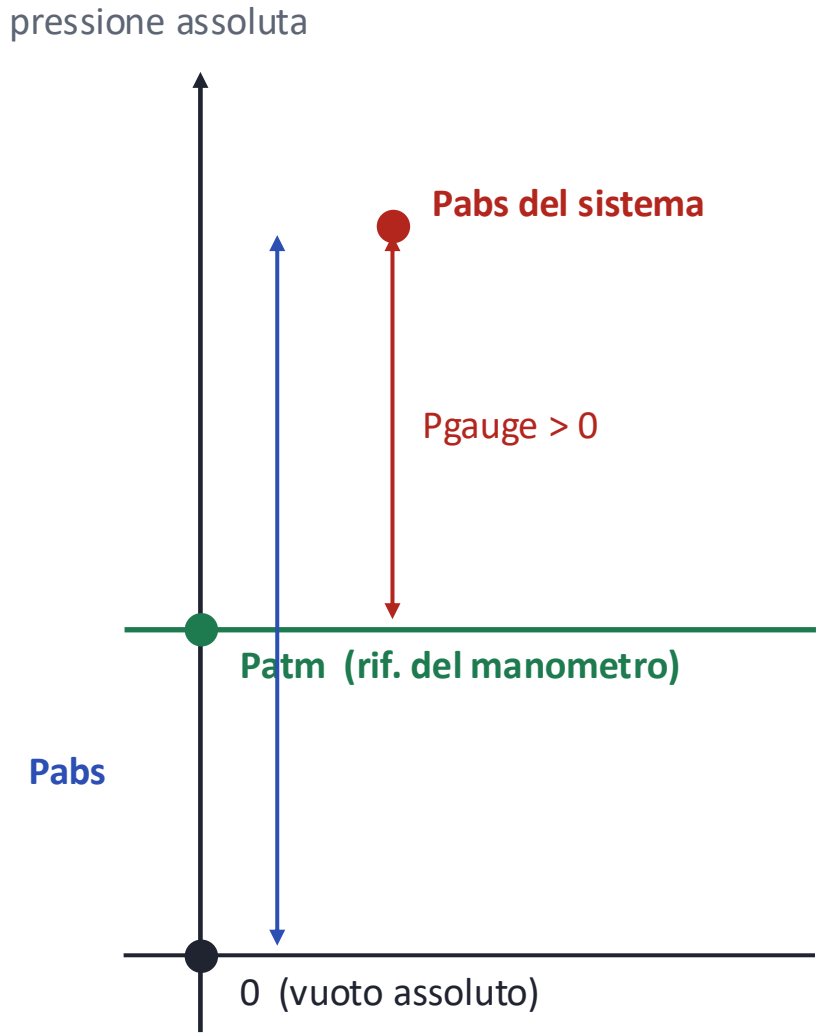
P assoluta (Pabs): misurata rispetto al vuoto assoluto. Non può essere negativa

P atmosferica (Patm): pressione assoluta dell'atmosfera locale

P manometrica (Pgauge): misurata rispetto alla pressione atmosferica

$$P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm}$$
$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge}$$

Pgauge può essere > 0, = 0 o < 0. Pgauge < 0 indica un vuoto parziale (sistema sotto Patm), NON una pressione assoluta negativa



Esempio 2: pressione manometrica negativa

Un gas ha Pgauge = −20 mmHg e la pressione atmosferica è Patm = 755 mmHg. Calcolare la pressione assoluta

Pabs = Patm + Pgauge = 755 − 20 = **735 mmHg**

Il gas è a 735 mmHg assoluti, cioè 20 mmHg sotto la pressione atmosferica

L'idrostatica nella pressione assoluta

Superficie di un liquido alla pressione P_0: $P_{abs}(h) = P_0 + \rho gh$

Se la superficie è aperta all'atmosfera ($P_0 = P_{atm}$):

$$P_{abs}(h) = P_{atm} + \rho gh \qquad P_{gauge}(h) = \rho gh$$

In un recipiente aperto la pressione manometrica a profondità h coincide con l'incremento idrostatico ρgh; la pressione assoluta contiene anche Patm

ES 3 A 30.0 m sotto la superficie di un lago: $\rho = 1000\ kg/m^3$, $g = 9.807\ m/s^2$, $P_{atm} = 1.013 \times 10^5\ Pa$

$P_{gauge} = \rho gh = (1000)(9.807)(30.0) = 2.94 \times 10^5\ Pa \approx$ **294 kPa**

$P_{abs} = 1.013 \times 10^5 + 2.94 \times 10^5 = 3.96 \times 10^5\ Pa \approx$ **396 kPa**

In altezza d'acqua: l'incremento manometrico è semplicemente 30.0 mH_2O

Manometri: la regola pratica

Un manometro a colonna confronta pressioni mediante differenze di quota. La regola è sempre la stessa:

scendendo in un fluido in quiete: P aumenta di $\rho g \Delta h$
salendo in un fluido in quiete: P diminuisce di $\rho g \Delta h$

Si parte da un punto a pressione nota e si percorre la colonna fino al punto incognito, aggiungendo $\rho g \Delta h$ quando si scende e sottraendolo quando si sale

Con un solo liquido manometrico e un ramo aperto all'atmosfera: $P_{gauge} = \pm \rho g h$

Esempio: altezza minima di una flebo

Una soluzione fisiologica ($\rho = 1.00$ g/mL $= 1000$ kg/m^3) è somministrata per via endovenosa. La superficie libera della flebo è a contatto con l'atmosfera. La pressione venosa al punto di infusione è Pvena,gauge = 18 mmHg. A quale altezza MINIMA h sopra il punto di ingresso deve trovarsi la superficie libera della soluzione?

Superficie della flebo: Pgauge = 0 (P = Patm). Scendendo fino all'ago P aumenta per effetto idrostatico:
Pgauge,ago = ρgh → per entrare serve ρgh ≥ Pvena,gauge

$$18\ \text{mmHg} \times \frac{133.322\ \text{Pa}}{1\ \text{mmHg}} = 2.40 \times 10^3\ \text{Pa}$$

$$h = \frac{2.40 \times 10^3\ \text{Pa}}{1000\ \text{kg/m}^3 \times 9.81\ \text{m/s}^2} = 0.245\ \text{m} = \mathbf{24.5\ cm}$$

Esempio: colonna di mercurio

Una colonna di Hg è aperta all'atmosfera; quel giorno Patm = 29.9 inHg. Determinare Pabs e Pgauge a 4.0 in sotto la superficie del mercurio

Alla superficie libera: Pabs = Patm = 29.9 inHg, Pgauge = 0

4.0 in sotto la superficie la pressione aumenta dell'equivalente di 4.0 inHg:

$\Delta P = \rho g h = 4.0$ inHg → **Pgauge = 4.0 inHg**

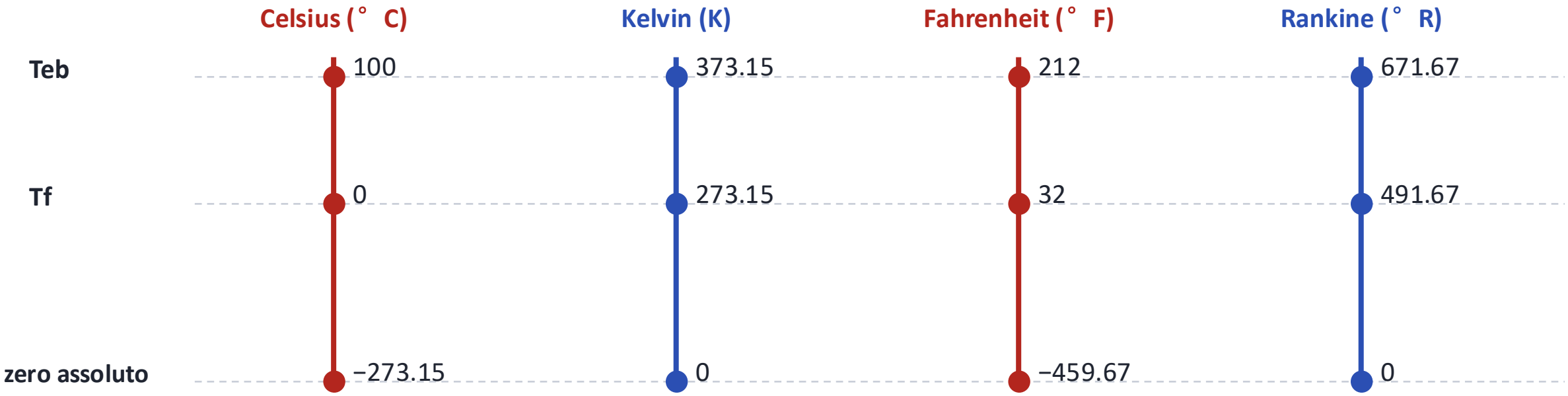
Pabs = Patm + Pgauge = 29.9 + 4.0 = **33.9 inHg**

Verifica: Pgauge = Pabs − Patm = 33.9 − 29.9 = 4.0 inHg ✓

5) Temperatura

TEMPERATURA → quantifica l'energia cinetica media delle molecole

Due punti standard: temperatura di congelamento (Tf) ed ebollizione (Teb) dell'acqua a P = 1 atm



Kelvin e Rankine: le scale assolute

In entrambe lo zero assoluto = 0 K o 0 ° R. K ha i "gradi" della scala ° C, ° R ha i gradi della scala ° F

$$T(K) = T(^\circ C) + 273.15$$
$$T(^\circ R) = T(^\circ F) + 459.67$$
$$T(^\circ R) = 1.8\, T(K)$$
$$T(^\circ F) = 1.8\, T(^\circ C) + 32$$

Fattori per gli INTERVALLI ΔT:

$$\frac{1.8\ ^\circ F}{1\ ^\circ C} \qquad \frac{1.8\ ^\circ R}{1\ K} \qquad \frac{1\ ^\circ C}{1\ K} \qquad \frac{1\ ^\circ F}{1\ ^\circ R}$$

Attenzione: le equazioni convertono una TEMPERATURA; i fattori convertono un INTERVALLO di temperatura (senza +32 o +273.15)

Esempio: intervallo di temperatura

Consideriamo l'intervallo 20 ° F – 80 ° F. a) Calcolare le due temperature in ° C e l'intervallo in ° C b) Calcolare direttamente l'intervallo in ° C

a) $T(^\circ F) = 1.8\,T(^\circ C) + 32 \rightarrow T(^\circ C) = \dfrac{T(^\circ F) - 32}{1.8}$ *Stima rapida: $T(^\circ C) \cong (T(^\circ F) - 32)/2$ (grezza)*

$$T_1 = \frac{20 - 32}{1.8} = -6.67\ ^\circ C \qquad T_2 = \frac{80 - 32}{1.8} = 26.67\ ^\circ C$$

$$\Delta T = 26.67 - (-6.67) = \mathbf{33.3\ ^\circ C}$$

b) $$\Delta T(^\circ C) = \Delta T(^\circ F) \times \frac{1\ ^\circ C}{1.8\ ^\circ F} = (80 - 20)\ ^\circ F \times \frac{1\ ^\circ C}{1.8\ ^\circ F} = \mathbf{33.3\ ^\circ C}$$