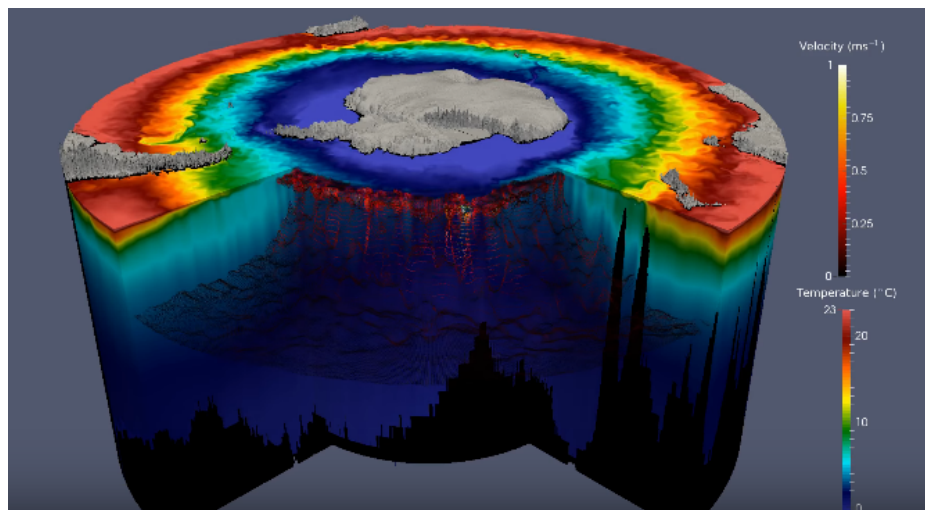


# Dispense di fisica

## Modulo 1: *l'equilibrio nei fluidi*

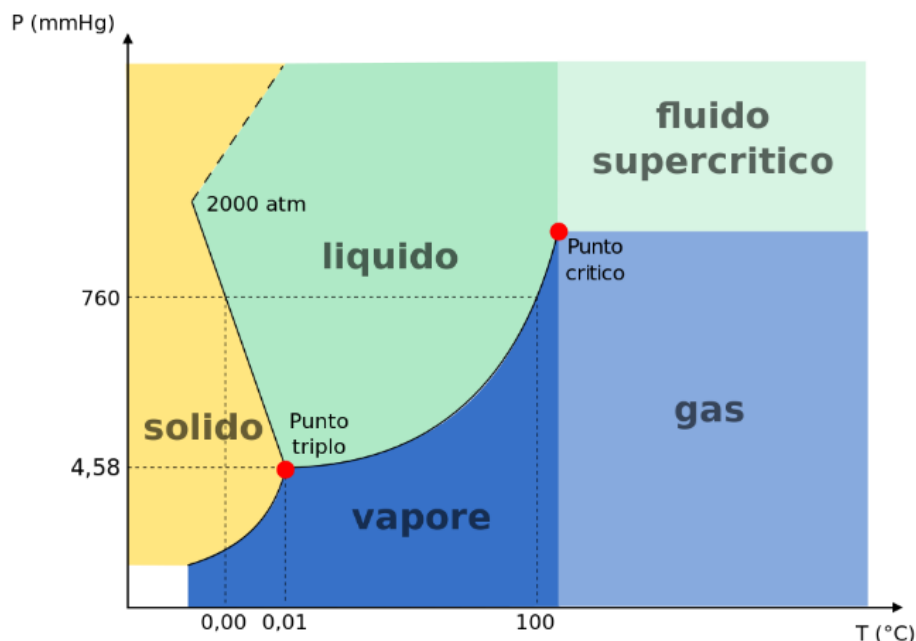
### Classi 2A e 2B scientifico

Ben trovati. Come avrete intuito, l'obiettivo di questo modulo è fortificare le vostre conoscenze nell'ambito dell'equilibrio dei corpi nei fluidi. In pratica, **studiare l'equilibrio di un corpo in un fluido significa capire se il corpo galleggia, affonda, risale o rimane in equilibrio all'interno del fluido, e perché**. Questo modulo è di fondamentale importanza perché il docente è specializzato in *Fisica del sistema terra*, ovvero fisica dell'atmosfera e degli oceani, e vorrebbe approfondire le tematiche relative alla fisica dell'atmosfera nel corso dell'anno. Dato l'obiettivo, le conoscenze fondamentali riguardanti l'equilibrio nei fluidi sono indispensabili..



**Figura 1:** Temperatura nell'Oceano Antartico (*Southern Ocean* in inglese) a seconda della profondità. Si noti che la temperatura cala con la profondità. Fonte: [https://www.youtube.com/watch?v=DFK\\_XyXZhIY](https://www.youtube.com/watch?v=DFK_XyXZhIY)

# 1: Il concetto di fluido



**Figura 2:** Rappresentazione grafica degli stati di aggregazione dell'acqua (solido, liquido, gas, vapore) in funzione della temperatura (in ascissa) e della pressione (in ordinata). Fonte: [https://it.wikitollearn.org/Corso:Termodinamica\\_classica/Trasporto\\_di\\_calore\\_ed\\_energia\\_interna/Transizioni\\_e\\_diagrammi\\_di\\_fase](https://it.wikitollearn.org/Corso:Termodinamica_classica/Trasporto_di_calore_ed_energia_interna/Transizioni_e_diagrammi_di_fase)

Sono detti *fluidi* tutti i materiali privi di forma propria. Tra i fluidi si annoverano:

- 1 I liquidi (acqua, mercurio, alcoli come etanolo e metanolo)
- 2 Gli aeriformi, ovvero:
  - 2.1 I vapori (vapore acqueo)
  - 2.2 I gas (azoto, ossigeno, idrogeno, anidride carbonica...)

La differenza tra vapore e gas è molto sottile. Un *vapore* è un aeriforme che, se compresso, può liquefarsi. Un *gas* è un aeriforme che non può liquefarsi nemmeno se sottoposto a pressioni enormi. **Per liquefare un gas è necessario raffreddarlo, portandolo sotto a una certa temperatura (detta *temperatura critica*)**. A parte questo dettaglio, il comportamento dei vapori e dei gas è lo stesso, per cui non ci dobbiamo curare eccessivamente di questa distinzione.

Lo studio dei fluidi è estremamente importante per tanti motivi:

1. Due comunissimi fluidi (l'acqua liquida e l'aria) sono parte integrante della nostra esperienza quotidiana. Sulle proprietà dei fluidi si basano svariati fenomeni, ad esempio il galleggiamento delle navi, la cottura dei cibi nell'acqua bollente, la cottura dei cibi al forno, eccetera.
2. Le proprietà della biosfera delle terre emerse sono strettamente legate al clima locale, il quale è determinato dal comportamento e dalle caratteristiche di un fluido (l'aria)
3. Le proprietà della biosfera degli oceani sono strettamente legate al comportamento e alle caratteristiche di un fluido (l'acqua)

Cominciamo esaminando brevemente il comportamento dei liquidi.

## 1.1: I liquidi

I liquidi sono fluidi che hanno un volume costante. In altri termini, la densità di una data massa di liquido è più o meno sempre la stessa, indipendentemente dalla pressione con cui lo schiacciamo e dalla sua temperatura.

**Attenzione:** anche se queste variazioni di densità sono abbastanza scarse, in certi casi possono essere estremamente importanti. Esploreremo questo concetto più avanti nel corso del quadrimestre.

I liquidi, in linea di massima, si comportano come segue:

1. Tendono a espandersi in orizzontale. Ad esempio, se bucate un bicchiere di plastica pieno d'acqua, il liquido tenderà a sgorgare dall'orifizio appena creato.
2. Tendono a raggiungere un livello quanto più basso possibile, occupando tutto il volume disponibile. Ad esempio, immaginate di immergere un recipiente chiuso e completamente vuoto (privo di aria) in acqua. Se lo aprite, l'acqua tenderà a occupare tutto il volume del recipiente, perché così facendo il livello dell'acqua cala.
3. Tendono a disporsi in modo tale che la parte di liquido meno densa sovrasti la parte di liquido più densa. Infatti, la parte meno densa degli oceani (quella calda superficiale) si trova al di sopra della parte più densa (quella fredda dei fondali, che hanno una temperatura spesso inferiore ai 5 °C). **Anche se la densità dell'acqua varia ben poco in funzione della temperatura, questa piccola variazione influenza in modo netto la struttura degli oceani (si veda la figura 1).**

## 1.2: Gli aeriformi

Gli aeriformi sono fluidi che non hanno un volume proprio. In altri termini, la densità di una data massa di fluido può cambiare enormemente, sia in funzione della pressione con cui lo schiacciamo, sia in funzione della loro temperatura. Infatti, come saprete, gli alpinisti che scalano le vette più alte portano con sé delle bombole d'ossigeno per respirare, in quanto l'aria in alta quota è molto più rarefatta (ha una densità minore).

**Questa minore densità è dovuta al minore peso della colonna d'aria che li sovrasta.** Infatti, se immaginiamo che l'atmosfera termini a 100km di altezza, e che l'alpinista si trovi a 8 km di altezza, l'aria che respira l'alpinista è schiacciata da  $100 - 8\text{km} = 92\text{km}$  di aria, mentre l'aria che respiriamo noi è schiacciata da 100km di aria. L'aria che respira l'alpinista ha una densità minore perché è schiacciata da un peso minore rispetto all'aria che respiriamo noi.

Gli aeriformi, in linea di massima, si comportano come segue:

1. Tendono a occupare tutto il volume disponibile, anche se questo comporta un aumento del loro livello.
2. Tendono a disporsi in modo tale che la parte di fluido meno densa sovrasti la parte di fluido più densa.

## 2: Il concetto di pressione e la legge di Stevino

La pressione che una forza esercita su una superficie è uguale al rapporto tra l'intensità della forza fratto l'area della superficie:

$$P = \frac{F}{S} \quad (1)$$

**Questa formula è del tutto generale e vale tanto per i solidi quanto per i fluidi.** La pressione si misura in pascal (simbolo: Pa). Un pascal equivale un newton su metro quadrato:

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

Attenzione: la pressione non è una forza, sebbene le due grandezze siano affini. La pressione viene utilizzata per molti scopi: ad esempio, in ingegneria si per determinare quanto un corpo possa sopportare determinati *sforzi*, come la *compressione* o la *torsione*, prima di rompersi. In generale, la pressione è una grandezza comoda perché tramite di essa si studiano e si quantificano bene gli **effetti di una forza su un oggetto** (la rottura, l'allungamento, la contrazione): utilizzare le forze espresse in newton è meno comodo. **Facciamo un esempio:** se vi dico che sto applicando una forza di 200 N su una parete non vi è facile comprendere se sarò in grado di forarla. Se invece vi specifico che tale forza la sto applicando su una superficie molto piccola, premendo un chiodo con un martello, allora vi sarà chiaro che il muro potrà essere forato.

All'interno dei **liquidi**, vale una legge speciale per definire la pressione in funzione della profondità, ovvero la **legge di Stevino**. In pratica, tramite la legge di Stevino si vede chiaramente che la pressione all'interno di un fluido **aumenta con la profondità**. La legge di Stevino può essere dimostrata con il seguente esperimento mentale:

1. Supponiamo di prendere in considerazione una superficie qualsiasi all'interno del liquido. Per esempio, immaginiamo di trovarci su un fondale oceanico e di prendere in considerazione un lastrone di roccia di  $S = 90\text{m}^2$ .
2. Determiniamo la forza peso agente sul lastrone, che è il prodotto della massa d'acqua che sovrasta il lastrone moltiplicata per l'accelerazione di gravità:

$$F_p = m \cdot g \quad (3)$$

3. Per determinare la forza, dobbiamo calcolare la massa d'acqua che sovrasta il lastrone. La massa d'acqua sarà uguale al prodotto della densità dell'acqua moltiplicata il suo volume:

$$m = d_a \cdot V \quad (4)$$

4. Dobbiamo ora determinare il volume dell'acqua, che sarà uguale al prodotto della superficie del lastrone per la profondità del fondale

$$V = S \cdot h \quad (5)$$

5. Componendo tutti i risultati, otteniamo:

$$F_p = [m] \cdot g \quad (6)$$

$$= [d_a \cdot (V)] \cdot g \quad (7)$$

$$= [d_a \cdot (S \cdot h)] \cdot g \quad (8)$$

$$= d_a \cdot S \cdot h \cdot g \quad (9)$$

6. Per trovare la pressione dell'acqua, sarà sufficiente dividere la forza peso per la superficie del lastrone:

$$P = \frac{F_p}{S} \quad (10)$$

$$= \frac{d_a \cdot \cancel{S} \cdot h \cdot g}{\cancel{S}} \quad (11)$$

$$= d_a \cdot h \cdot g \quad (12)$$

Questa legge vale in qualsiasi liquido. **In questa dimostrazione abbiamo assunto che la densità del liquido fosse costante, perché abbiamo espresso la massa dell'acqua come prodotto di una densità fissa per il volume totale**, quindi questa dimostrazione non vale per i gas, che hanno una densità molto variabile (i gas possono essere compressi).

## 2.1: Esercizi sulla pressione e sulla legge di Stevino

1. Calcola la pressione che il tuo corpo esercita sui tuoi piedi in due condizioni:

- (a) Poggi entrambi i piedi sul suolo.
- (b) Ti trovi in punta di piedi, e tieni sospeso in aria il piede destro.

Per calcolare la pressione utilizza la tua massa e misura con un righello la larghezza e la lunghezza dei tuoi piedi.

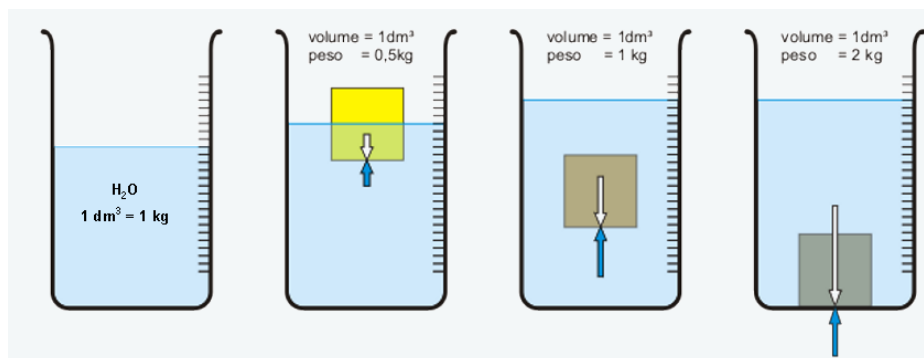
2. Determina la pressione che subisce un sottomarino alle seguenti profondità, supponendo che il sottomarino si immerga in un lago e che l'acqua sia dolce ( $d_A = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ).

- (a) 100 metri.
- (b) 500 metri.
- (c) 5000 metri.

Ricorda di **sommare tutte le volte la pressione atmosferica (100.000 Pa)**. **Trova la profondità a cui le pareti del sottomarino cedono**, sapendo che la pressione massima che il sottomarino tollera è 10.000.000 Pa.

3. Ripeti l'esercizio precedente supponendo che il sottomarino si immerga nell'oceano Pacifico: l'acqua salata ha una densità superiore ( $d_A(\text{salata}) = 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ).

### 3: Il principio di Archimede



**Figura 3:** Rappresentazione delle tre casistiche principali descritte nel testo: il corpo ha sempre lo stesso volume in tutte e tre le figure, ma una densità minore (pannello sinistro), uguale (pannello centrale) o maggiore (pannello destro) di quella del fluido. Fonte: <http://www.ml-grafica.it/sub/apnea/fisica.html>

Il principio di Archimede **vale per tutti i fluidi**, e non solo per i liquidi. Esso afferma che un corpo immerso in un qualsiasi fluido subirà una forza dal basso la cui intensità sarà uguale al peso del fluido spostato:

$$F_g = V_{spo} \cdot d_{flu} \cdot g \quad (13)$$

Questo principio vale sulla superficie terrestre, ma non nello spazio, perché nello spazio l'accelerazione di gravità (ovvero  $g$ ) è nulla. **L'esistenza di questa spinta è molto controintuitiva: perché mai un fluido dovrebbe spingere un corpo dal basso verso l'alto?** La risposta, in linea di massima, è la seguente: **il fluido prova a entrare nel corpo immerso sia da sopra che da sotto**, esercitando una certa forza, perché il fluido tende in ogni caso a occupare tutto il volume disponibile. Dato che sotto la pressione è maggiore, la forza che il fluido esercita da sotto è maggiore rispetto a quella che esercita da sopra, e questo produce una spinta netta dal basso verso l'alto.

Nel caso in cui un corpo venga immerso in un fluido, si possono distinguere tre casistiche:

- 1 La densità del corpo è maggiore di quella del fluido: il corpo affonda.
- 2 La densità del corpo è uguale a quella del fluido: la posizione del corpo rimane fissa (se la sua velocità iniziale è nulla).
- 3 La densità del corpo è minore di quella del fluido.
  - 3.1 Se il corpo è completamente immerso, tende a risalire verso la superficie.
  - 3.2 Se il corpo è in superficie, tende a rimanere solo parzialmente immerso.

**Tutto questo avviene perché in tutti e tre i casi è necessario sommare vettorialmente la forza peso e la forza di galleggiamento (o forza di Archimede).** La forza peso è data dalla seguente formula:

$$F_p = V_{cor} \cdot d_{cor} \cdot g \quad (14)$$

### 3.1: Corpo completamente immerso

Se il corpo è completamente immerso, allora il volume spostato è pari al volume del corpo:

$$V_{spo} = V_{cor} \text{ (se il è completamente immerso)} \quad (15)$$

Quindi, in questo caso, la forza di galleggiamento vale:

$$F_g = V_{cor} \cdot d_{flu} \cdot g \quad (16)$$

**Per determinare la forza risultante, è necessario calcolare la differenza tra forza di galleggiamento e forza peso, perché esse hanno verso opposto.** Si ottiene:

$$F_r = F_p - F_g = V_{cor} \cdot d_{cor} \cdot g - V_{cor} \cdot d_{flu} \cdot g \quad (17)$$

$$= V_{cor} \cdot g \cdot (d_{cor} - d_{flu}) \quad (18)$$

Quindi, se il corpo è completamente immerso, **il segno della forza risultante dipende dalla differenza tra densità del corpo e densità del fluido.** In soldoni, se la densità del corpo è maggiore della densità del fluido, la forza peso prevale e il corpo affonda. Se la densità del corpo è minore della densità del fluido, la forza di galleggiamento prevale e il corpo va verso l'alto. Se le due densità sono uguali, la loro differenza è nulla e la forza risultante sarà uguale a 0N.

### 3.2: Corpo parzialmente immerso

**Il corpo è parzialmente immerso quando galleggia.** Se il corpo galleggia l'intensità della forza peso sarà uguale all'intensità della forza di galleggiamento (il corpo è fermo, per cui la risultante delle forze deve essere nulla):

$$F_p = F_g \text{ (se il corpo galleggia)} \quad (19)$$

**Cerchiamo di determinare la frazione di volume immerso.** Sapendo che la forza peso è data dall'equazione 14 e la forza di galleggiamento è data dall'equazione 13, otteniamo:

$$V_{cor} \cdot d_{cor} \cdot g = V_{spo} \cdot d_{flu} \cdot g \quad (20)$$

$$\frac{d_{cor}}{d_{flu}} = \frac{V_{spo}}{V_{cor}} \quad (21)$$

$$FI = \frac{d_{cor}}{d_{flu}} \quad (22)$$

dove con il termine «FI» è stata denotata la frazione di corpo immerso, che è uguale al rapporto tra il volume spostato (cioè quello immerso) e il volume totale (cioè quello del corpo). **Abbiamo mostrato che la frazione di corpo immerso è data dal rapporto delle densità del corpo e del fluido:** più è denso il corpo, maggiore sarà la sua frazione immersa.

## 4: Esercizi

- 1 Gioia Casini è in preda al panico più totale. Dopo aver saccheggiato con la sua nave pirata un villaggio delle coste indonesiane, recuperando una cassetta piena di perle, scivola sulla superficie del ponte appena pulita da Riccardo Galeazzi e lascia cadere la cassetta in mare.

Casini: «Come faccio adesso?»

Galeazzi: «Ci penso io...»

Galeazzi si immerge in acqua fino a raggiungere una profondità di 23 metri, in corrispondenza del fondale. Per non sprofondare nelle paludi, Galeazzi indossa due racchettoni la cui superficie è pari a 5 decimetri quadrati (la sua massa è di 85 kg: forse un po' di palestra farebbe bene). Trova la cassetta piena di perle (volume  $103\text{dm}^3$ , densità  $1200\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ), la recupera e la riporta in superficie.

Casini: «Ma come hai fatto a recuperare una cassetta così pesante?»

Galeazzi: «Ci ha pensato la spinta di Archimede ad aiutarmi!»

- 1.1 Quanto vale la pressione che Galeazzi esercita sul fondale?
  - 1.2 Quanto vale la pressione dell'acqua sul fondale, sapendo che la densità del liquido salato è di  $1025\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ?
  - 1.3 Quanto vale la massa della cassetta?
  - 1.4 Quanto vale la forza di galleggiamento agente sulla cassetta?
  - 1.5 Quanto vale la forza peso agente sulla cassetta?
  - 1.6 Quanto vale la forza risultante agente sulla cassetta?
  - 1.7 Perché Riccardo non fa fatica a portar su la cassetta?
- 2 Andrea Paffetti è alla guida della nave pirata vista nell'esercizio precedente. La nave ha una massa di 20.000.000kg e occupa un volume di  $40.000\text{m}^3$ . La nave ha un'area di base di  $2000\text{m}^2$  e un'altezza di 20 metri.

2.1 Quanto vale la frazione di nave immersa?

2.2 Quale è la pressione che l'acqua esercita sulla chiglia della nave?

A un certo punto, Irene Magiotti dà un pizzico a Andrea, con una forza di 20N e catturando una superficie di pelle di  $1\text{mm}^2$ . Andrea perde il controllo della nave, va a sbattere contro uno scoglio, la fiancata si lacera e la nave imbarca  $100\text{m}^3$  d'acqua.

2.3 Quanto vale la pressione del pizzico di Irene?

2.4 La nave affonda o rimane a galla? (Suggerimento: la massa della nave aumenta perché imbarca acqua, ma il volume rimane invariato)