

Il 13 gennaio 2012 la nave da crociera Costa Concordia naufragò sulle coste dell'Isola del Giglio. Per salvaguardare al massimo l'ambiente, il relitto fu rimosso intero, dando luogo così alla più complessa e costosa operazione di recupero in mare mai eseguita al mondo.

Come è stato rimosso il relitto della Costa Concordia per limitare l'impatto ambientale?

Leggi la risposta nelle Risorse digitali

LA MECCANICA DEI FLUIDI

1 I FLUIDI E LA PRESSIONE

Gas e liquidi hanno la proprietà di *fluire* e per questo, insieme, sono chiamati **fluidi**.

Come tutti i corpi dotati di massa, anche i fluidi sono soggetti alla forza di gravità. L'atmosfera terrestre, per esempio, resta attorno alla Terra perché l'attrazione gravitazionale le impedisce di allontanarsi.

■ Per sostenere un bilanciere di 100 kg dobbiamo esercitare una forza di

$$(100 \text{ kg}) (9,8 \text{ m/s}^2) = 980 \text{ N},$$

che costituisce uno sforzo estremo anche per i muscoli più allenati.



■ Il peso della colonna d'aria che dalla nostra testa si innalza fino al margine dell'atmosfera oltrepassa i 2500 N. Perché l'atmosfera, a causa di questo peso, non ci schiaccia?



Non siamo schiacciati perché l'aria non agisce soltanto sulla nostra superficie esterna, ma riempie anche le cavità interne del nostro corpo. Perciò l'aria ci spinge da tutte le direzioni, dall'esterno e dall'interno. La risultante di queste forze è tale da non schiacciare, anzi, come vedremo nel prossimo paragrafo, ci spinge un po' verso l'alto!

AL VOLO

IL PESO DELL'ARIA SOPRA LA TESTA

► La sezione trasversale della tua testa ha un'area di circa 250 cm². Cerca in Internet il valore della densità del mercurio e calcola il peso di una colonna di mercurio con sezione equivalente, di altezza uguale a 76 cm.

► Ripensa a come funziona il barometro di Torricelli: puoi spiegare perché il peso di tale colonna è uguale a quello della colonna d'aria che sovrasta la tua testa?

La relazione tra pressione e forza

A contatto con una superficie, i fluidi producono una forza che tende a respingere la superficie in direzione perpendicolare.

L'acqua spinge sulla **maschera subacquea** e la sub, a una data profondità, sente sempre lo stesso effetto, anche se gira la testa o esegue capriole. La forza di un fluido su una superficie, infatti, *non dipende da come essa è orientata* ed è sempre perpendicolare a essa.

D'altra parte, agendo su una superficie che delimita un fluido, per esempio spingendo il pistone di una pompa di bicicletta, si può esercitare una forza *sul* fluido.

Il comportamento delle masse fluide è descritto dalle leggi di Newton; tuttavia, nello studio dei fluidi è conveniente ragionare in termini di *pressione* anziché di forza (e di *densità* anziché di massa).

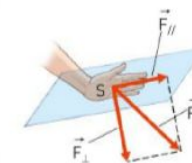


FIGURA 1
La forza \vec{F} che spinge la lastra di vetro è distribuita sulla porzione di superficie sotto il palmo della mano, di area S . La pressione è dovuta solo alla componente \vec{F}_\perp di \vec{F} ed è data da $p = \frac{F_\perp}{S}$.

Se una forza agisce su una superficie in modo omogeneo, la **pressione** sulla superficie stessa è la *grandezza scalare* definita come il rapporto tra l'intensità F_\perp della componente della forza perpendicolare alla superficie e l'area S della superficie (**FIGURA 1**):

$$p = \frac{F_\perp}{S} \quad [1]$$

pressione [Pa] ————— forza perpendicolare [N]
area della superficie [m²]

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura della pressione è il newton fratto metro quadrato (N/m²), che si chiama **pascal** (Pa). La pressione atmosferica normale o standard (misurata al livello del mare a 45° di latitudine e alla temperatura di 15 °C) è

$$p_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Il valore p_0 fornisce un'unità di pressione (non del Sistema Internazionale) che si chiama **atmosfera** (atm): 1 atm = 1,013 × 10⁵ Pa.

La legge di Stevino: come varia la pressione di un liquido con la profondità

I liquidi e i gas, per alcuni aspetti, si comportano nello stesso modo. Si distinguono, tuttavia, per un'evidente proprietà.

- I gas sono *facilmente comprimibili*, cioè una piccola forza è sufficiente per ridurre il loro volume aumentando così la loro densità.
- I liquidi, invece, sono *poco comprimibili*; idealmente, possiamo supporre che non lo siano affatto e che abbiano, pertanto, densità costante.

Per questi ultimi vale la **legge di Stevino**; per un liquido di densità d , in quiete, indichiamo con p la pressione in un punto alla profondità h dalla superficie superiore, su cui agisce la pressione atmosferica p_0 (**FIGURA 2**). La **legge di Stevino** è espressa dalla seguente

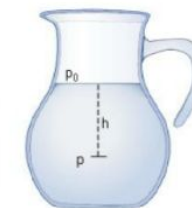


FIGURA 2
Per la legge di Stevino, la differenza di pressione $p - p_0$ tra un punto a profondità h e la superficie di un liquido è direttamente proporzionale a h .

equazione:

$$p = p_0 + d g h. \quad [2]$$

pressione [Pa] a profondità h densità (kg/m^3)
 profondità (m)
 pressione atmosferica [Pa] accelerazione di gravità (m/s^2)

Poiché la densità d del liquido e l'accelerazione di gravità g sono costanti, la [2] dice che la differenza di pressione $p - p_0$ è direttamente proporzionale a h .

La formula [2] mostra anche che la pressione di un liquido *non dipende dalla forma del recipiente*: qualunque sia la forma, in tutti i punti situati alla stessa profondità h rispetto alla superficie superiore, la pressione è la stessa.

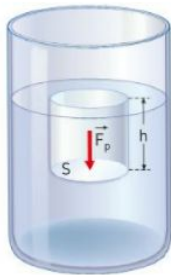


FIGURA 3
La legge di Stevino si dimostra imponendo la condizione di equilibrio alla parte di fluido contenuta in un volume cilindrico di altezza h .

Dimostrazione della legge di Stevino

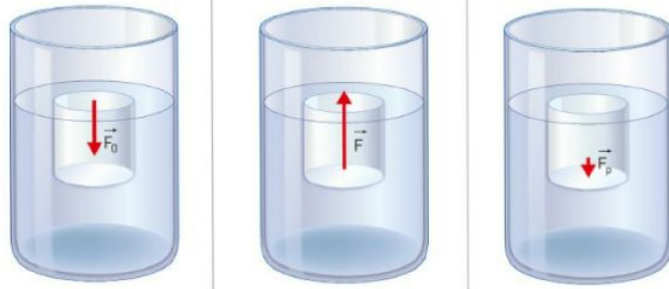
Osserva il recipiente rappresentato nella FIGURA 3 e fissa la tua attenzione sul volume di liquido di forma cilindrica evidenziato:

- l'area di base del cilindro è S e la sua altezza è h ;
- sulla base superiore del cilindro agisce la pressione atmosferica p_0 ;
- sulla base inferiore agisce una pressione p da determinare;
- la densità del liquido è d .

Dopo aver individuato le forze verticali...

Le forze che agiscono lungo la verticale sul cilindro di liquido sono:

- la spinta \vec{F}_0 verso il basso esercitata sulla base superiore dall'aria atmosferica,
- la spinta \vec{F} verso l'alto esercitata sulla base inferiore dal liquido che sta sotto,
- la forza-peso \vec{F}_p verso il basso esercitata dalla Terra.



Ricorda la relazione [1] tra pressione e forza e tieni presente che la massa m del liquido nel cilindro è $m = d S h$, cioè il prodotto tra densità e volume. I moduli di ciascuna delle tre forze sono, rispettivamente,

$$F_0 = p_0 S, \quad F = p S, \quad F_p = m g = d S h g.$$

AL VOLO

UNITÀ DI MISURA

Controlla qual è, nel Sistema Internazionale, l'unità di misura del prodotto $d g h$.

e aver imposto la condizione di equilibrio...

- Poiché la porzione di liquido considerata è in equilibrio, la somma vettoriale delle tre forze deve essere nulla.
- Se consideri positiva la forza orientata verso l'alto e negative quelle orientate verso il basso, grazie ai moduli scritti in precedenza ottieni

$$p S - p_0 S - d S h g = 0.$$

trovi la relazione tra pressione e profondità.

- L'equazione precedente coincide con la [2], $p = p_0 + d g h$.

Nota che hai dedotto la legge di Stevino imponendo la condizione di equilibrio lungo la verticale, ossia, in definitiva, usando solo le leggi fondamentali della dinamica.

Inoltre nella dimostrazione è stata usata la relazione $m = d S h$, che vale solo per fluidi con densità costante, cioè i liquidi. Quindi la [2] non è applicabile ai gas. Per esempio non vale per l'aria dell'atmosfera, che è più densa negli strati bassi e più rarefatta in alto.

Infine, osserva la FIGURA 4. La forza \vec{F}_d spinge verso destra contro una porzione di superficie laterale: poiché il cilindretto è in equilibrio, sulla porzione opposta, di uguale area, deve esserci una forza \vec{F}_s che spinge con la medesima intensità verso sinistra. Visto che le aree delle due porzioni sono uguali, le due forze hanno la stessa intensità solo se la pressione è uguale a sinistra e a destra. Si conferma così che la pressione [2] dipende dalla profondità ma non dalla posizione sul piano orizzontale.

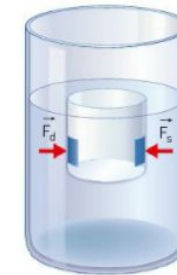


FIGURA 4
Comunque si scelgano due porzioni simmetriche della superficie laterale del cilindretto, su di esse agiscono forze uguali e opposte.

La legge di Pascal: come si trasmettono le variazioni di pressione attraverso un liquido

La legge di Pascal, o principio di Pascal, stabilisce che

una *variazione* di pressione prodotta su qualunque superficie a contatto con un liquido *in equilibrio*, completamente racchiuso da pareti, si trasmette inalterata a ogni altra superficie a contatto con il liquido.

Anche questa legge vale per i fluidi di densità costante (liquidi) e può essere considerata una conseguenza dell'equazione [2].

Se il recipiente che contiene il liquido viene chiuso da un pistone e, premendo su di esso, si esercita una forza sulla superficie del liquido (FIGURA 5), la pressione su questa superficie subisce una variazione Δp , passando da p_0 a $p_0 + \Delta p$. Poiché la densità d del liquido è insensibile a questo cambiamento, la [2] resta valida a condizione di porre $p_0 + \Delta p$ al posto di p_0 . Ciò vuol dire che la pressione, a qualunque profondità h , subisce la stessa variazione, ossia passa da p a $p + \Delta p$.

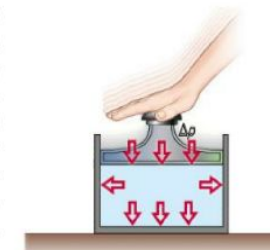


FIGURA 5
La mano determina, tramite il pistone, una variazione di pressione Δp sulla superficie superiore del liquido. La stessa variazione si produce su tutte le superfici a contatto con il liquido.

ESPERIMENTO VIRTUALE

Sotto pressione

2 LA LEGGE DI ARCHIMEDE E IL GALLEGGIAMENTO

I fluidi esercitano su un corpo immerso (anche parzialmente) una forza verso l'alto, chiamata *spinta di Archimede* (FIGURA 6). La legge di Archimede stabilisce che:

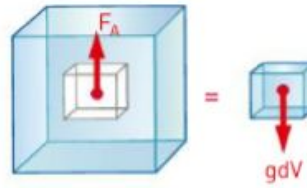


FIGURA 6 La spinta di Archimede vale quanto il peso del fluido spostato.

un corpo immerso in un fluido subisce una forza diretta verso l'alto, di intensità F_A uguale al peso del fluido spostato:

$$F_A = d V g. \quad [3]$$

Labels for the equation: F_A is spinta di Archimede [N], d is densità del fluido (kg/m^3), V is volume di fluido spostato (m^3), and g is accelerazione di gravità (m/s^2).

Nella formula [3] il prodotto $d V$ tra la densità e il volume del fluido spostato è la massa m di tale parte di fluido che, moltiplicata per g , dà il suo peso $m g$.

La legge di Archimede vale sia per i liquidi sia per i gas. La spinta di Archimede esercitata dall'aria è quella che fa salire un palloncino pieno di elio.

AL VOLO

LA SPINTA DELL'ARIA

- È maggiore la spinta verso l'alto che l'aria esercita su di te o quella che esercita su un palloncino che vola? Giustifica la tua risposta.

Dimostrazione della legge di Archimede

La legge di Archimede può essere dedotta senza alcun passaggio matematico.

Individua le forze che il fluido esercita su un corpo immerso...

- Un corpo di forma qualsiasi e di volume V è immerso in un fluido, che esercita una forza perpendicolare su ognuna delle varie porzioni della superficie del corpo (FIGURA 7). La risultante \vec{F}_A di tutte le forze esercitate dal fluido costituisce la spinta di Archimede. Devi trovare il modo di determinare \vec{F}_A .



FIGURA 7 La spinta di Archimede è la risultante delle forze che il fluido esercita su tante piccole porzioni di superficie poste tutto intorno al corpo. Scegliendo queste porzioni tutte uguali in area, le forze sono proporzionali alle pressioni e quindi, per la legge di Stevino, sono più intense in basso e meno in alto

poi toglì il corpo e confronta.

- Immagina di sostituire il corpo con una quantità di fluido identica in forma. Ora il volume V che prima era occupato dal corpo è riempito da una massa $m = d V$ di fluido, dove d è la densità del fluido. La forza-peso che agisce su tale massa ha modulo $F_p = m g = d V g$.
- Sulla superficie che racchiude il volume V il fluido all'esterno continua a esercitare le stesse forze di prima, quando c'era il corpo: uguale a prima, dunque, è la loro risultante \vec{F}_A , da determinare.
- La massa fluida considerata è all'equilibrio. Perciò, la risultante delle forze che agiscono su di essa è uguale a zero. Ciò significa che la spinta di Archimede F_A deve essere una forza verticale verso l'alto, di modulo uguale a F_p (FIGURA 8). Hai ottenuto, quindi, $F_A = d V g$, cioè la [3].

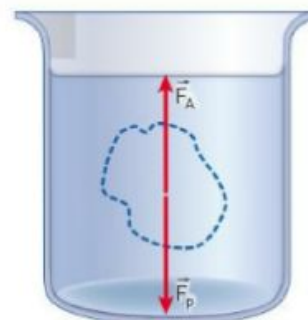


FIGURA 8 La spinta di Archimede che agisce sul corpo bilancia il peso di una quantità di fluido con volume uguale a quello del corpo.

IN LABORATORIO

Il diavoleto di Cartesio

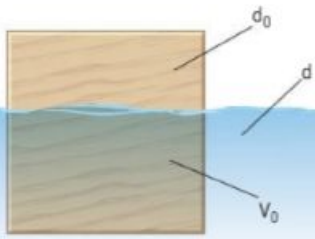


FIGURA 9

Quando un corpo galleggia, il suo peso è equilibrato dalla spinta di Archimede, che il liquido esercita sulla sola parte immersa.

AL VOLO

IL SOMMERGIBILE

- La spinta di Archimede su un sommergibile è maggiore quando esso è a galla, quando galleggia sommerso o quando poggia sul fondo? In quale dei tre casi il peso del sommergibile è maggiore? In quale (o quali) il peso è equilibrato dalla spinta di Archimede?

La condizione di galleggiamento

Consideriamo un corpo di densità (o densità media, se composto di più materiali) d_0 , di volume V_0 e quindi di massa $m_0 = d_0 V_0$. Esso è immerso, in tutto o in parte, in un liquido di densità d e il volume della parte immersa, cioè del liquido spostato, è V (FIGURA 9). Sotto quali condizioni il corpo galleggia?

All'equilibrio, la forza-peso \vec{F}_p che agisce sul corpo (verticale e rivolta verso il basso, di modulo $F_p = m_0 g = d_0 V_0 g$) ha lo stesso valore della spinta di Archimede \vec{F}_A (rivolta verso l'alto e di modulo $F_A = d V g$).

Uguagliando questi due moduli ($F_p = F_A$) si ottiene la relazione

$$d_0 V_0 g = d V g,$$

da cui si trova la condizione di galleggiamento:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{d_0}{d} \quad [4]$$

volume di liquido spostato [m³]
densità del corpo (kg/m³)
volume del corpo [m³]
densità del liquido (kg/m³)

In base alla [4], un corpo che ha una densità minore di quella del liquido sale verso l'alto e si trova in equilibrio quando è immerso solo parzialmente; un corpo di densità uguale a quella del liquido, invece, galleggia sotto il livello del liquido e si trova in equilibrio a qualsiasi profondità; infine, un corpo di densità maggiore affonda.

3 LA CORRENTE DI UN FLUIDO

Finora abbiamo studiato la *statica* dei fluidi, cioè il comportamento di fluidi all'equilibrio, fermi rispetto al sistema di riferimento prescelto. Le leggi della dinamica descrivono anche le proprietà di un fluido in movimento.

Si chiama **corrente** un movimento ordinato di un liquido o di un gas.

- Il movimento dell'acqua di un fiume forma una corrente.



- Schizzi d'acqua disordinati non costituiscono una corrente.



La portata

Una «conduttura» è un tubo in cui scorre un gas o un liquido, oppure il letto in cui scorre un fiume. La *portata* di una conduttura è una grandezza fisica che descrive quanto è