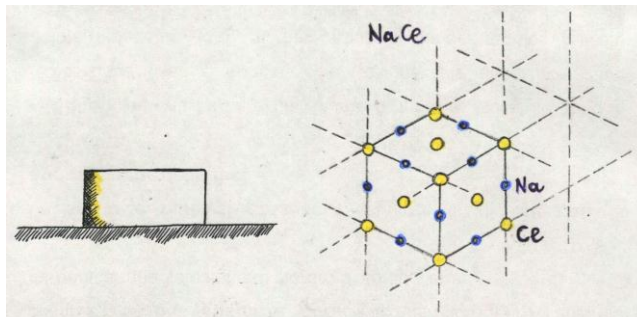


Stati di aggregazione della materia, la pressione e i fluidi in quiete

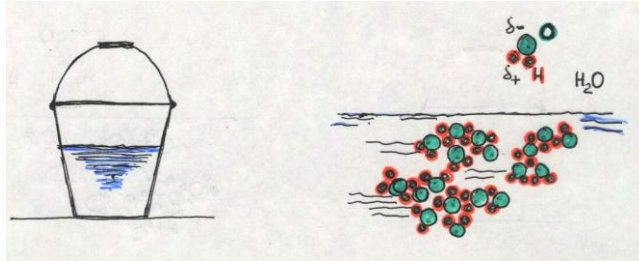
Una porzione di materia costituita da una sostanza la cui composizione chimica non varia da un punto all'altro si dice costituita da una **sostanza pura**: l'acqua, l'idrogeno, l'anidride carbonica, una soluzione di cloruro di sodio, l'aria.

Le sostanze pure si possono presentare in diversi **stati di aggregazione** dette **fasi**:

Solido: ha una forma e un volume proprio; le molecole sono in posizione fissa e sono "vicine" le une alle altre; interazioni intermolecolari forti; si ha ordine a lungo raggio (reticolo cristallino).



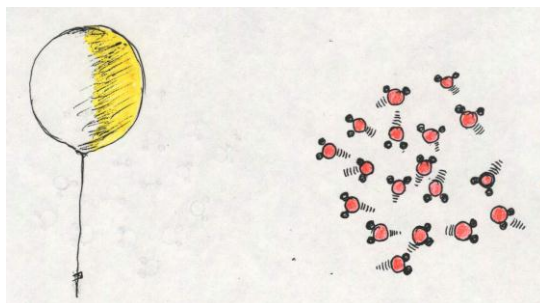
Liquido: ha un proprio volume ma non una propria forma; le distanze tra molecola e molecola non sono molto diverse da quelle del solido; interazioni intermolecolari abbastanza forti; si ha un certo livello di ordine, ma solo a corto raggio; le molecole sono libere di scorrere le une sulle altre.



08/11/2012

3

Aeriforme: non ha ne forma ne volume proprio ma occupa tutto il volume che ha a disposizione; le molecole sono "lontane" le une dalle altre; non si ha ordine; interazioni intermolecolari deboli; le molecole si muovono liberamente.

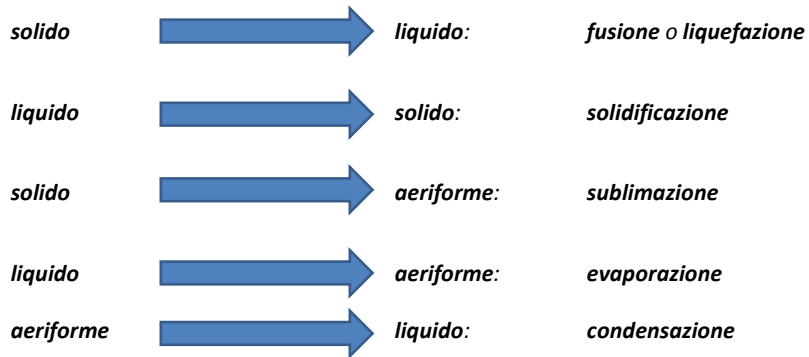


08/11/2012

4

Trasformazioni di fase

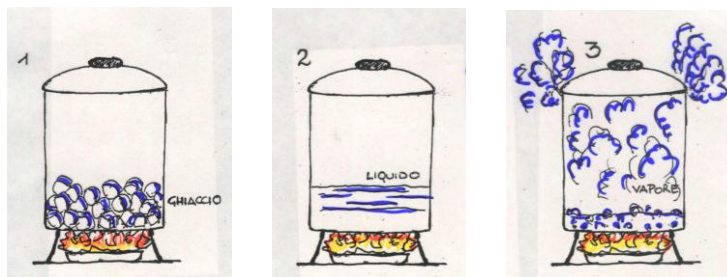
Le sostanze possono passare da una fase all'altra attraverso quelle che sono chiamate **trasformazioni di fase**:



08/11/2012

5

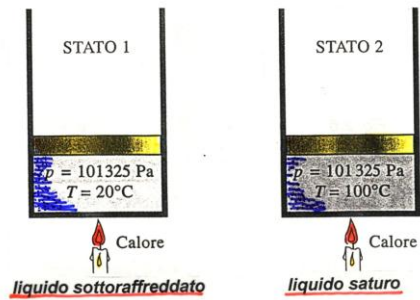
Il passaggio di fase non avviene in modo gratuito...



08/11/2012

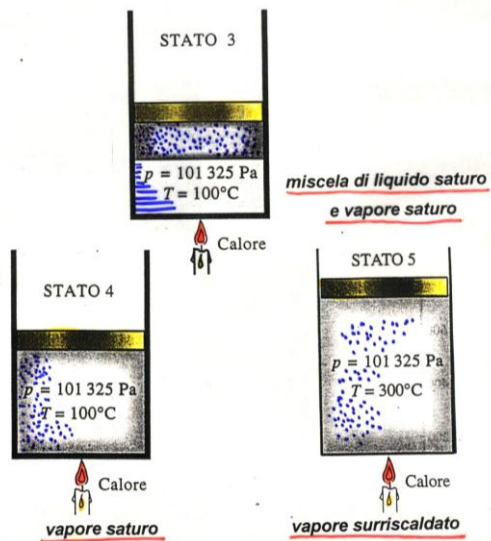
6

Trasformazione di fase: liquido-vapore



08/11/2012

7



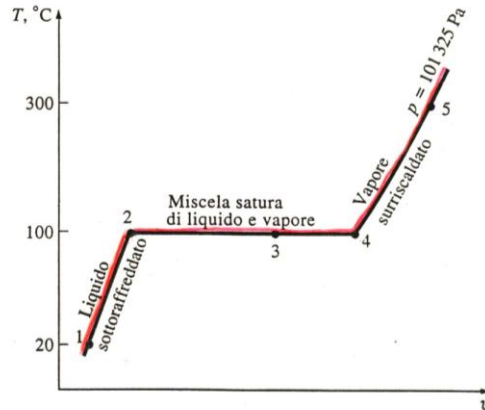
08/11/2012

8

Il calore latente

- Nei passaggi di stato solido \Rightarrow liquido, liquido \Rightarrow vapore è necessario fornire dell'energia che viene impiegata per rompere/allentare i legami tra le molecole.

L'energia che si fornisce sotto forma di calore non fa cambiare la temperatura e viene chiamata **latente**.
Facendo riferimento all'unità di massa si parla di **calore latente di liquefazione** e di **calore latente di vaporizzazione**, essi sono tipici di ciascuna specie chimica e sono espressi in [J/kg].



08/11/2012

9

Nelle trasformazioni "inverse" liquido \Rightarrow solido e vapore \Rightarrow liquido vengono rilasciate le stesse quantità di calore assorbite nella trasformazione inversa. Perciò il calore latente di vaporizzazione per una particolare sostanza è esattamente uguale al calore di condensazione. In generale il calore latente ha valori molto grandi rispetto ai calori specifici delle sostanze in fase liquida e gassosa.

fluido	calore latente di vaporizzazione [kJ/kg]	cp_L [kJ/(kgK)]	cp_V [kJ/(kgK)]
ammoniaca 0°C - 4,29 bar	1261,8	4,617	2,660
acqua 0°C - 0,0061 bar	2500,5	4,229	1,868
R134a 0°C - 2,93 bar	198,8	1,335	0,883
R22 0°C - 4,98 bar	204,9	1,171	0,744

ATTENZIONE: il calore latente dipende dalla pressione (e dunque anche dalla temperatura) a cui avviene il cambiamento di fase.

08/11/2012

10

Regola delle fasi di Gibbs

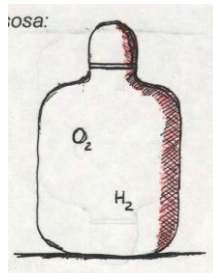
Lo stato di un sistema composto da più componenti presenti in diverse fasi è individuato in maniera completa da un numero V di grandezze di stato intensive che è in relazione al numero di componenti C e fasi F secondo la relazione (**Regola di Gibbs**):

$$V = C - F + 2$$

V numero di variabili intensive $[T, P, x_i, \dots]$ alterabili indipendentemente senza che si alteri il numero delle fasi. In altre parole numero di variabili intensive che bisogna definire per fissare i valori delle variabili intensive che restano

Miscela O_2 e H_2 gassosa:

$$V = 2 - 1 + 2 = 3$$



08/11/2012

11

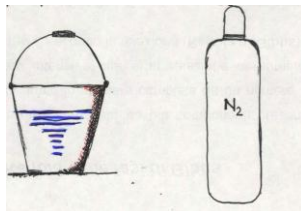
Regola delle fasi di Gibbs

Lo stato di un sistema composto da più componenti presenti in diverse fasi è individuato in maniera completa da un numero V di grandezze di stato intensive che è in relazione al numero di componenti C e fasi F secondo la relazione (**Regola di Gibbs**):

$$V = C - F + 2$$

Una massa di acqua liquida o un certo volume di N_2 gassoso:

$$V = 1 - 1 + 2 = 2$$



08/11/2012

12

Regola delle fasi di Gibbs

Lo stato di un sistema composto da più componenti presenti in diverse fasi è individuato in maniera completa da un numero V di grandezze di stato intensive che è in relazione al numero di componenti C e fasi F secondo la relazione (**Regola di Gibbs**):

$$V = C - F + 2$$

Una massa di metallo parzialmente fusa, oppure di acqua e ghiaccio:

$$V = 1 - 2 + 2 = 1$$



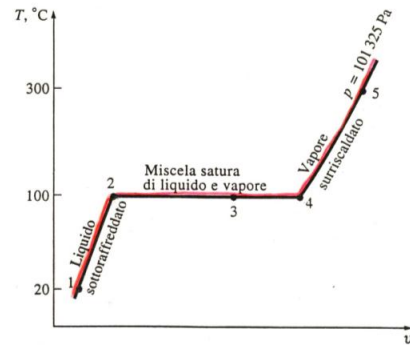
Regola delle fasi di Gibbs

Per un sistema termodinamico costituito da un solo componente presente in equilibrio in tutte e 3 le fasi si ottiene:

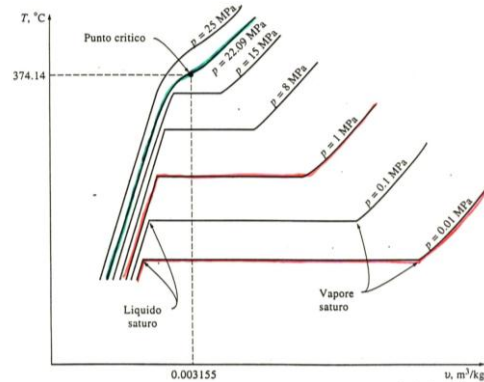
$$V = 1 - 3 + 2 = 0$$

Questo significa che il sistema ha una sola combinazione di p , v , t al di fuori della quale non può più trovarsi in equilibrio. Il sistema non ha gradi di variabilità.

Riportando l'esperienza della vaporizzazione di un liquido in un grafico T-v:



e ripetendo l'esperienza a pressioni diverse:



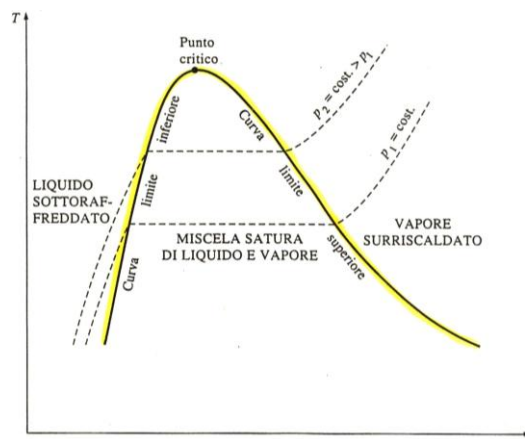
Punto critico: coincidenza dei punti che rappresentano gli stati di liquido saturo e vapore saturo

15

Unendo tra di loro i punti di liquido saturo e di vapore saturo si ottengono le due curve limite che si uniscono nel punto critico a formare la caratteristica campana:

Si individuano tre zone:

- a bassi volumi specifici si ha liquido sottoraffreddato
- sotto la campana si ha la zona di coesistenza di liquido e vapore
- a elevati volumi specifici si ha il vapore surriscaldato



08/11/2012

16

Diagramma tridimensionale

Come si è visto lo stato di una sostanza pura è individuato da una coppia di grandezze di stato indipendenti. **Fissate due proprietà tutte le altre sono definite.**

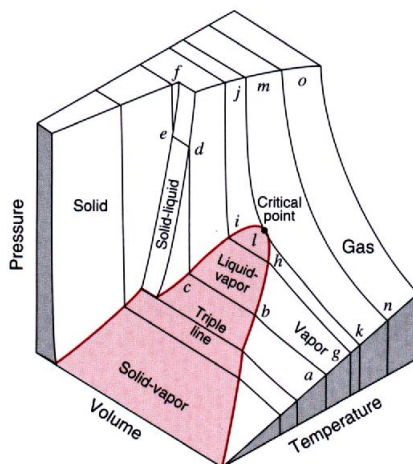
Una funzione di due variabili, descritta dalla una relazione del tipo $z = z(x,y)$, rappresenta una superficie nello spazio x, y, z .

In particolare nello spazio delle grandezze p, v, T fissate due di esse (es. T e v) la terza p è fissata secondo una funzione $p = p(T, v)$ ed è rappresentata da una superficie p - v - T i cui punti rappresentano tutti i punti di equilibrio della sostanza (combinazione di tre valori delle tre grandezze).

08/11/2012

17

Diagramma di stato tridimensionale

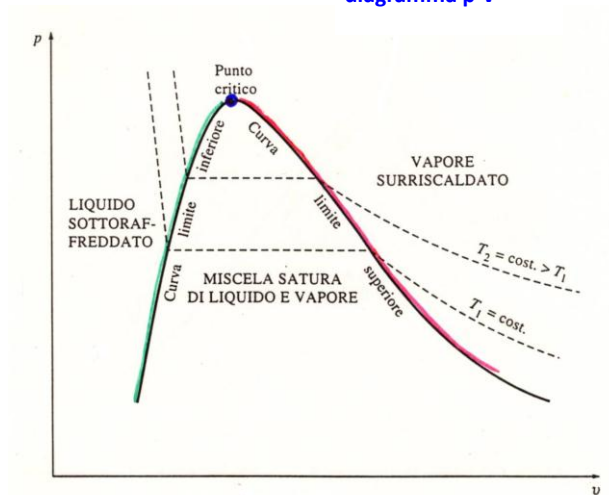


08/11/2012

18

Nella descrizione degli stati di equilibrio di una sostanza si possono utilizzare anche diagrammi di tipo p-v e p-T.

diagramma p-v

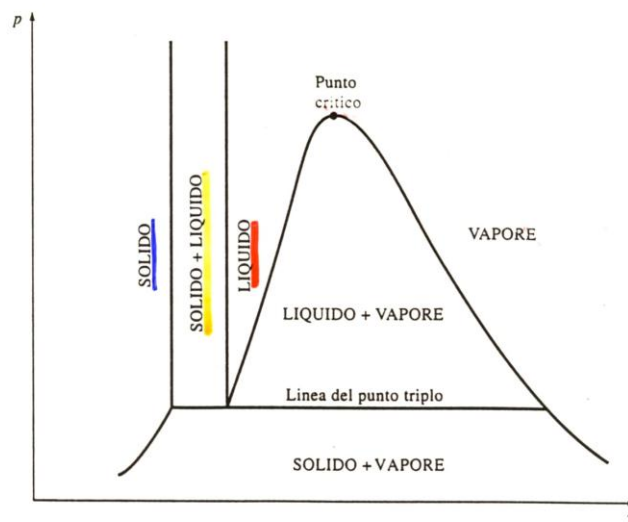


08/11/2012

19

Il diagramma presentato è una finestra su un diagramma più esteso in cui si trovano anche le zone di equilibrio del solido, la coesistenza solido liquido e quella solido-vapore e la linea del punto triplo.

diagramma p-v



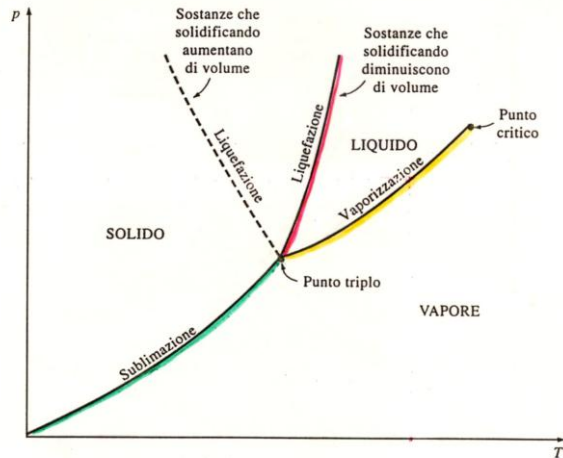
08/11/2012

20

Nella descrizione degli stati di una sostanza si possono utilizzare anche diagrammi di tipo p-v e p-T.

diagramma p-T

Il punto triplo dell'acqua:
 $p = 611 \text{ Pa}$
 $T = 273.16 \text{ K}$
 $v = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$

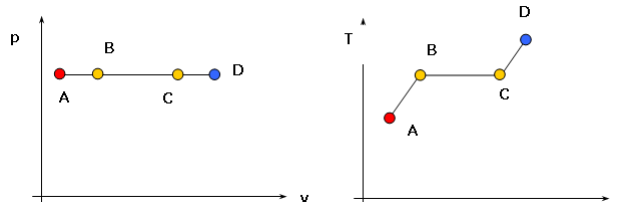
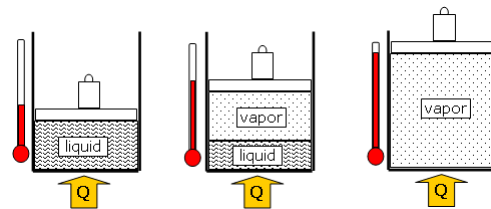


08/11/2012

21

Diversi modi di vaporizzare un liquido

aumentando la temperatura a pressione costante

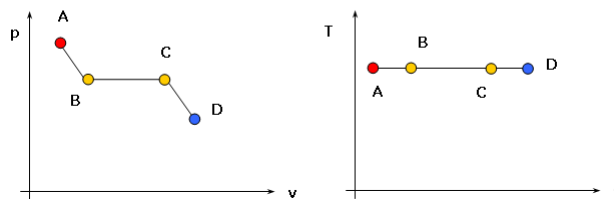
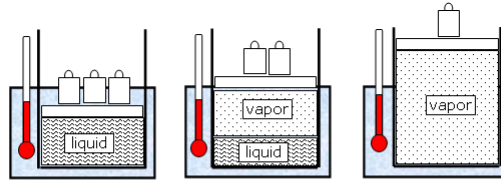


08/11/2012

22

Diversi modi di vaporizzare un liquido

diminuendo la pressione a temperatura costante



08/11/2012

23

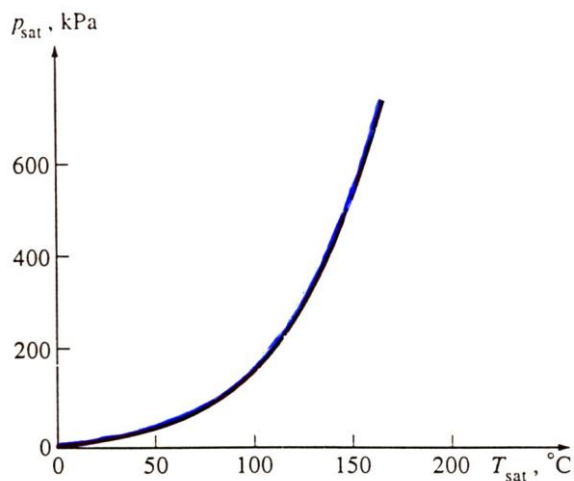
Pressione e temperatura di saturazione

La vaporizzazione avviene ad una precisa temperatura che è funzione della pressione.

$$T_{sat} = f(p_{sat})$$

$$p_{sat} = f(T_{sat})$$

Viceversa, fissata la temperatura la vaporizzazione avviene ad una precisa pressione che è funzione della temperatura.



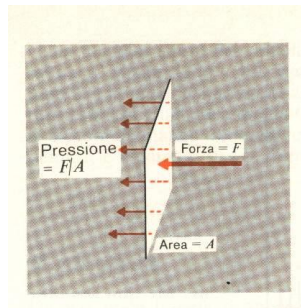
08/11/2012

24

La pressione

La grandezza fisica **pressione** definisce l'azione di una forza su di una superficie. Un semplice esempio può essere quello della forza peso esercitata da un oggetto appoggiato su di un pavimento. Si può dare la seguente definizione:

la pressione corrisponde alla forza che agisce in direzione perpendicolare sull'unità di superficie.



08/11/2012

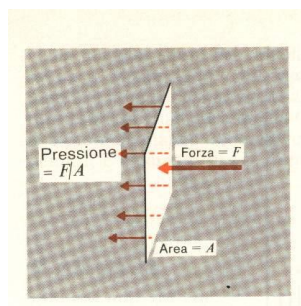
25

La pressione

Se la forza, F , è applicata sull'area, A , si ha la pressione, p , secondo la relazione:

$$p = \frac{F}{A}$$

$$\frac{[N]}{[m^2]} = [Pa] = (\text{Pascal})$$

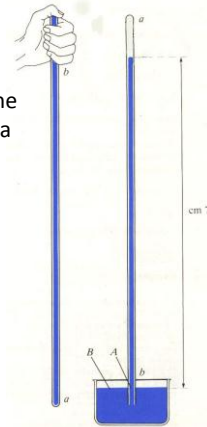


08/11/2012

26

La pressione

La pressione
atmosferica



Fattori di conversione tra unità di misura della pressione

	Pa	atm	bar	mm Hg
1 Pa	1	$9,87 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	$7,5 \cdot 10^{-3}$
1 atm	101325	1	0,01325	760
1 bar	100000	0,987	1	750
1 mm Hg (torr)	133,32	$1,31 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	1
1 mbar	100	$0,987 \cdot 10^{-3}$	$0,132 \cdot 10^{-3}$	$750 \cdot 10^{-3}$

08/11/2012

27

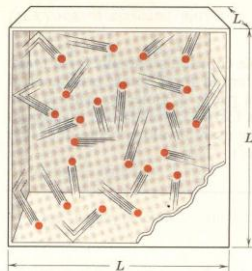
Fluidi in equilibrio

Fluidi = liquidi e aeriformi

Fluido in quiete = si dice che un fluido è in quiete rispetto al recipiente che lo contiene quando lo è qualunque sua parte abbastanza grande da essere osservabile su scala macroscopica.

Esempio: una folla di persone..

Un fluido è in quiete quando si ha EQUILIBRIO TRA le forze che tendono a metterlo in moto (es. forza peso) e le forze esercitate dalle pareti del contenitore sul fluido stesso (che ne impediscono il movimento).



08/11/2012

28

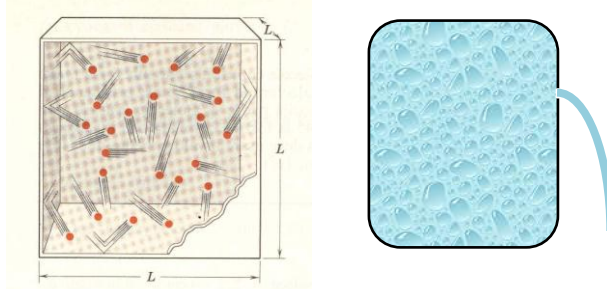
Fluidi in equilibrio

Fluidi = liquidi e aeriformi

Fluido in quiete = si dice che un fluido è in quiete rispetto al recipiente che lo contiene quando lo è qualunque sua parte abbastanza grande da essere osservabile su scala macroscopica.

Esempio: una folla di persone..

Un fluido è in quiete quando si ha EQUILIBRIO TRA le forze che tendono a metterlo in moto (es. forza peso) e le forze esercitate dalle pareti del contenitore sul fluido stesso (che ne impediscono il movimento).



08/11/2012

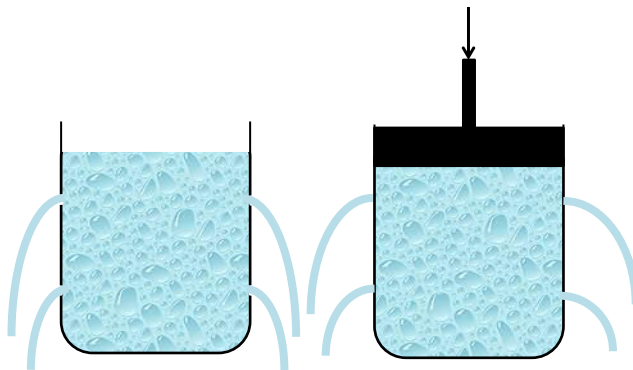
29

In un fluido la forza che «genera» la pressione è la somma delle forze esercitate dalle singole particelle di fluido contro le pareti del recipiente.

Dove agisce tale forza?

Tale forza si distribuisce sull'intero involucro che racchiude il fluido.

In particolare, nei liquidi, questa forza si chiama SPINTA IDROSTATICA, essa è perpendicolare alle pareti del contenitore.



08/11/2012

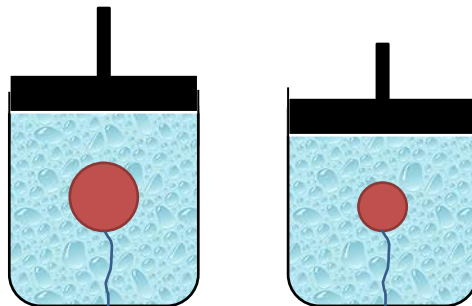
30

- Come possiamo agire sulla pressione di un fluido?
 - Aumentando il peso del fluido con l'azione di un pistone
 - Riducendo il volume a disposizione del fluido
 - Aumentando la temperatura del fluido
- RICORDA: i liquidi sono incompressibili!
- DOMANDA: le forze di pressione agiscono solo sulla superficie del contenitore che racchiude il fluido?

08/11/2012

31

Le forze di pressione agiscono in ogni punto del fluido, quindi anche all'interno del fluido stesso



Il palloncino non cambia forma perché le forze di pressione agiscono **PERPENDICOLARMENTE** alla superficie del palloncino.

In ogni punto l'azione esercitata dal recipiente sul fluido è uguale e opposta all'azione esercitata dal fluido sul recipiente.

08/11/2012

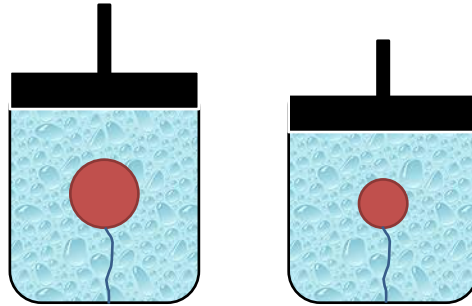
32

Lo stesso esperimento dimostra un principio noto come **PRINCIPIO DI PASCAL**:

la pressione in un liquido si trasmette inalterata da una sua parte a ogni altra;

ovvero:

Qualsiasi variazione della pressione prodotta in un punto qualsiasi del fluido si propaga simultaneamente in tutti gli altri punti



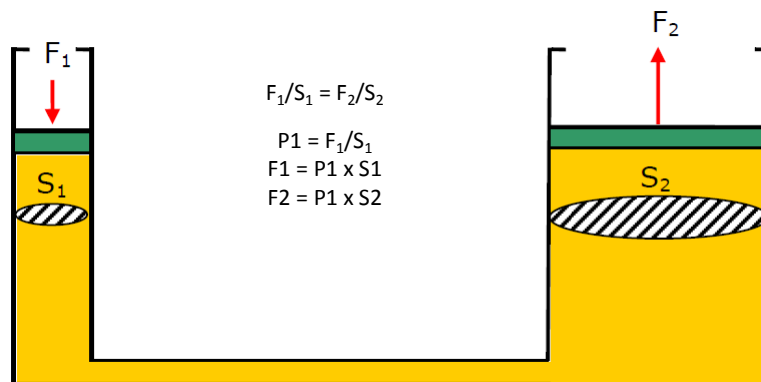
08/11/2012

33

Torchio idraulico

Su un pistone di area pari a 50 cm^2 di un torchio idraulico agisce una pressione di $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$.

Calcoliamo la pressione e la forza trasmessa sull'altro ramo del torchio idraulico il cui pistone presenta un'area pari a 80 cm^2 .



$$F_1/S_1 = F_2/S_2$$

$$P_1 = F_1/S_1$$

$$F_1 = P_1 \times S_1$$

$$F_2 = P_1 \times S_2$$

08/11/2012

34

Il calcolo della pressione in un fluido: il peso di un fluido

Quanto pesa un fluido?

In generale : $P = m g$ [N]

La massa di un fluido dipende dal tipo di fluido e dal volume che esso occupa:

$$m = \rho V \text{ [kg]}$$

Ad esempio 1m^3 di:

acqua ha una massa pari a $m_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 * 1 = 1000$ kg

olio ha una massa pari a $m_{\text{olio}} = 910 * 1 = 910$ kg

aria ha una massa pari a $m_{\text{aria}} = 1.21 * 1 = 1.21$ kg

Il calcolo della pressione in un fluido pesante e incompressibile

Il peso di un fluido è:

$$P = \rho_{\text{fluido}} V_{\text{fluido}} g \text{ [N]}$$

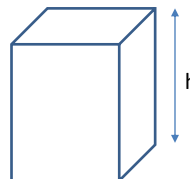
E la pressione sarà: $p = P / A = (\rho_{\text{fluido}} V_{\text{fluido}} g) / A \text{ [Pa]}$

A è l'area su cui grava il peso del fluido.

Nel caso di un contenitore a forma di parallelepipedo, il volume è:

$$V = A h$$

$$p = (\rho_{\text{fluido}} A h g) / A = \rho_{\text{fluido}} h g$$

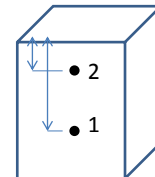


Pressione di un fluido pesante e incompressibile Legge di Stevino

$$p = \rho_{\text{fluido}} h g$$

La pressione esercitata su punti alla stessa quota è uguale.

Legge di Stevino



$$p_1 - p_2 = \rho_{\text{fluido}} g (h_1 - h_2)$$

Tra punti che si trovano a quote diverse la differenza di pressione dipende dalla differenza di quota.

Da cui se ho un liquido in un recipiente immerso in un fluido:

$$p_{\text{liquido}} = p_{\text{atm}} + \rho_{\text{fluido}} g h$$

In un fluido in quiete la pressione cresce proporzionalmente alla profondità

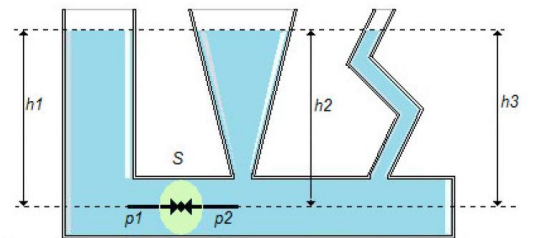
Legge di Stevino

$$p_1 - p_2 = \rho_{\text{fluido}} g (h_1 - h_2)$$

Osservando la **legge di Stevino**, si può affermare che la pressione in un fluido è direttamente proporzionale:

- alla **densità del fluido** – più è denso, tanto maggiore sarà la pressione;
- all'**accelerazione di gravità** – in un pianeta nel quale la g è più elevata, a parità di fluido si ha una maggiore pressione;
- alla **profondità** – all'aumentare della profondità un sommozzatore sopporta pressione crescente.

Vasi comunicanti



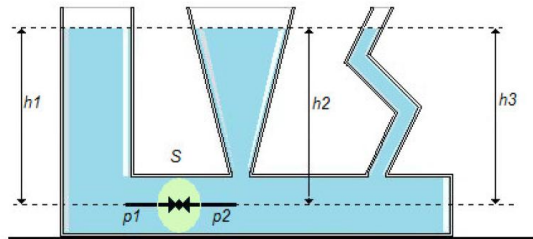
Indipendentemente dalla loro forma, quando i vasi vengono messi in comunicazione il fluido si porta alla stessa altezza.

Osserviamo i primi due vasi. Dato che il liquido è fermo, la pressione p_1 esercitata nel primo vaso

sulla sezione S deve essere uguale alla pressione p_2 nel secondo vaso esercitata sulla stessa sezione.

Per il principio di Pascal avremo:

Vasi comunicanti



Per il principio di Pascal avremo:

$$p_1 = p_2$$

Ma:

$$p_1 = \rho g h_1 \quad \text{e} \quad p_2 = \rho g h_2$$

Quindi:

$$\rho g h_1 = \rho g h_2 \quad \text{e, semplificando: } h_1 = h_2$$

In tutti i vasi l'acqua sale comunque, indipendentemente dalla forma, allo stesso livello.

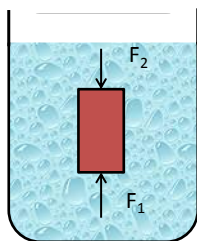
08/11/2012

41

Principio di Archimede

L'applicazione della legge di Stevino permette di calcolare la cosiddetta spinta di Archimede che agisce su qualunque corpo immerso in un fluido.

$$\begin{array}{ll} p_1 = p_0 + \rho_f g h_1 & \gg \gg \quad F_1 = (p_0 + \rho_f g h_1) A \\ p_2 = p_0 + \rho_f g h_2 & \gg \gg \quad F_2 = (p_0 + \rho_f g h_2) A \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \end{array}} \right\} F_1 > F_2$$



$$\begin{aligned} F_A = F_1 - F_2 &= [(p_0 + \rho_f g h_1) A] - [(p_0 + \rho_f g h_2) A] = \\ &= \rho_f g (h_1 - h_2) A = \rho_f g V_{\text{corpo immerso}} \end{aligned}$$

Volume del
parallelepipedo
immerso

ρ_f = densità del fluido del fluido

F_A è sempre rivolta verso l'alto perché F_1 è sempre $>$ di F_2 !

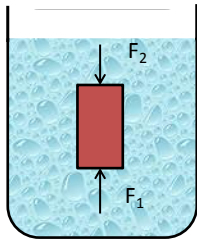
08/11/2012

42

Principio di Archimede

Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verticale dal basso verso l'alto pari al peso di fluido spostato.

$$F_A = \rho_f g V_{\text{corpo immerso}}$$



08/11/2012

Esperienza di laboratorio: Il principio di Archimede – Lezione del prof. Aldo Di Maria

43

Principio di Archimede

Su un corpo immerso in un fluido agiscono quindi due forze: la forza peso (verso il basso) e la spinta di Archimede (verso l'alto).

Affinché un corpo resti a galla la spinta di Archimede F_A deve essere maggiore o uguale al peso P del corpo, cioè:

$$F_A \geq P_{\text{corpo}}$$

$$\rho_f g V_{\text{corpo immerso}} \geq \rho_c g V_{\text{corpo immerso}}$$

$$\rho_f \geq \rho_c$$

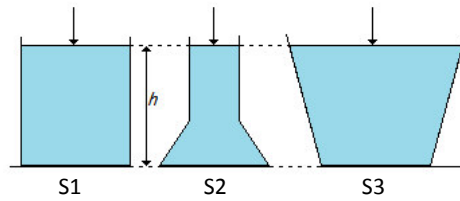
La condizione di galleggiamento di un corpo in un fluido è che la densità del fluido sia maggiore o uguale rispetto a quella del corpo.

08/11/2012

44

Il paradosso idrostatico

Se si hanno tre recipienti aventi la stessa base, riempiti con lo stesso liquido alla stessa altezza h , la spinta sui fondi è uguale per tutti in quanto sul fondo di ognuno si avrà la stessa pressione $p = \rho g h$, e avendo uguale base la forza sarà per tutti $F = \rho g h S$.



$$S1 = S2 = S3$$