

MODULO 13

PROPRIETÀ DEI FLUIDI

OBIETTIVO:

Conoscere e capire alcune proprietà dei fluidi tra cui il teorema della capillarità, la galleggiabilità dei corpi e i profili aerodinamici.

TARGET:

Scuola media

TEORIA:

In questo modulo non tratterò tutte le proprietà dei fluidi ma approfondirò principalmente solo quei concetti necessari alla realizzazione di interessanti esperimenti che possono essere effettuati facilmente in aula. Qualora fosse richiesto un particolare approfondimento, vi consiglio di rifarvi a testi di fisica, più adatti ed esaustivi.

Lo stato liquido e lo stato gassoso sono due stati di aggregazione della materia che vengono studiati dai fisici come appartenenti ad un'unica categoria chiamata "**fluidi**".

Un fluido è caratterizzato da molecole o atomi completamente liberi di muoversi oppure tenuti insieme da un legame molto debole che determina alcune proprietà molto peculiari. I fluidi presentano la caratteristica di assumere la forma del contenitore che li racchiude, con la differenza che un liquido assume la forma del contenitore ma possiede un volume proprio, mentre un gas assume interamente forma e volume del contenitore. Uno dei fluidi più importanti è l'acqua. In un bicchiere di acqua ci sono miliardi e miliardi di molecole che si agitano continuamente poiché mosse dalla temperatura ambiente. Proprio per il fatto che le particelle che costituiscono un fluido sono in stato di continuo movimento, esso è in grado di generare forze di pressione sulle pareti del contenitore. Queste forze producono fenomeni interessanti che vedremo in questo modulo.

Da un punto di vista generale, possiamo dividere i fenomeni legati alla meccanica dei fluidi in due importanti categorie: **fenomeni fluidostatici** e **fenomeni fluidodinamici** nel caso particolare del fluido acquoso rispettivamente, idrostatici e idrodinamici. Possiamo ulteriormente raggruppare i principali fenomeni della fluidostatica (scienza che si occupa di studiare i fluidi immobili) in tre principi importanti: Il principio di **Pascal**, la legge di **Stevin** e il principio di **Archimede**. Mentre, per quanto riguarda le leggi relative alla fluidodinamica (scienza che si occupa di studiare i fluidi in movimento), possiamo elencare fra essi: la legge della portata o di **Leonardo**, il teorema di **Bernoulli** e alcune leggi importanti sulla **viscosità**.

Il principio di Pascal fu enunciato per la prima volta, nel 1647, dal matematico e filosofo francese Blaise Pascal. Esso afferma che la pressione applicata a un fluido contenuto in un recipiente è trasmessa in modo uguale in tutte le direzioni e in ogni parte del contenitore, posto che possano essere trascurate le differenze di pressione dovute al peso del fluido. Dall'enunciato di questo principio si spiega perché, un palloncino di gomma che viene gonfiato,

assume una forma sferica. Infatti, l'aria che viene immessa all'interno del palloncino, costituisce il nostro fluido che viene sempre più compresso da altra aria che noi introduciamo per gonfiarlo. Poiché questa pressione si propaga in modo uguale in tutte le direzioni, la forma prevalente sarà quella sferica. È ovvio che la forma effettiva che assume il sistema, potrà essere anche influenzata dalla struttura del palloncino di gomma. Nel caso delle bolle di sapone invece, abbiamo una forma sferica perfetta. Dal principio di Pascal abbiamo anche importanti applicazioni, quali il torchio idraulico e il martinetto idraulico.

Il principio di Archimede invece afferma che, un corpo immerso in un fluido, riceve una spinta fluidostatica diretta dal basso verso l'alto, d'intensità pari al peso del volume di fluido spostato. Questo principio ci spiega perché i corpi galleggiano. Infatti se una transatlantico riesce a galleggiare sul mare è perché il peso del volume di acqua marina, che è stato in grado di spostare quando viene immerso in acqua, eguaglia il peso dell'intera nave a pieno carico. A tal proposito avete a disposizione un paragone molto convincente da sviluppare in seno ad una discussione su questo argomento ai vostri ragazzi. Infatti è facile verificare che quando ci troviamo al mare e proviamo ad alzare una grossa pietra dal fondo dell'acqua, pratichiamo uno sforzo diverso se la pietra è posta sotto la superficie dell'acqua oppure è posta appena sopra di essa. In pratica riusciamo a sollevare piuttosto facilmente la pietra dal fondo, ma quando raggiungiamo la superficie dell'acqua e portiamo la pietra all'esterno, ci accorgiamo che dobbiamo fornire uno sforzo maggiore. La pietra, è quindi meno pesante quando è immersa nell'acqua grazie alla spinta di Archimede che agisce dal basso verso l'alto.

La legge di Stevin regola la variazione di pressione in un fluido a seconda dell'altezza. Essa dice che *la pressione in un punto qualsiasi di un liquido non dipende né dalla sua quantità né dalla forma del recipiente, ma solamente dalla profondità del punto dal pelo libero*. La legge di Stevin è anche chiamata seconda legge della fluidostatica. Per fare un esempio molto semplice supponete di avere una bottiglia. La pressione al suo interno, ed in modo particolare sul fondo di essa, non dipende dalla forma del contenitore ma solo dall'altezza del liquido contenuto. Infatti, se costruite una bottiglia con un collo molto lungo misurerete una pressione molto elevata sul fondo quando questa è riempita di liquido. Il fatto sorprendente (per alcuni anni è stato ritenuto un paradosso) è che il valore della pressione è indipendente dalla larghezza del collo della bottiglia. Essa dipende esclusivamente dall'altezza e dalla natura del liquido contenuto. La ragione per la quale le pareti di una diga sono più spesse verso il fondo dipende, infatti, dalla legge di Stevin.

Perché quando si osserva un fiume, oppure un torrente che scorre nell'incavi scoscesi della montagna, si vede una forte impennata da parte della velocità dell'acqua nei tratti dove gli incavi si stringono ? Questo fenomeno dipende da una importante legge dell'idraulica chiamata legge di Leonardo. Per capire questa legge dovete fare il seguente ragionamento. È necessario associare al fiume un valore di portata. La portata può essere espressa, per esempio, in litri all'ora, diciamo 8000 l/h. Questo significa che il torrente trasporta, ogni ora, 8000 litri fino a valle. Se consideriamo costanti alcune grandezze come la pressione all'origine del flusso e la mancanza di affluenti o diramazioni da parte del nostro torrente, possiamo ritenere per forza di cose la portata costante. Ciò significa che, considerando una qualsiasi sezione del torrente, essa verrà attraversata ogni ora da 8000 litri d'acqua. La conseguenza

di questo fatto è che, per far passare comunque in un'ora i famosi 8000 litri d'acqua, nei punti in cui la sezione del torrente si restringe, occorre che il flusso di velocità aumenti, così come deve diminuire nei punti in cui la sezione aumenta di larghezza. Da un punto di vista generale esiste una relazione di inversa proporzionalità fra la sezione di un qualsiasi condotto idraulico e la velocità del flusso di acqua, o di qualsiasi altro fluido, che vi passa. Questa relazione si esprime con la formula riportata in fig.1.13.

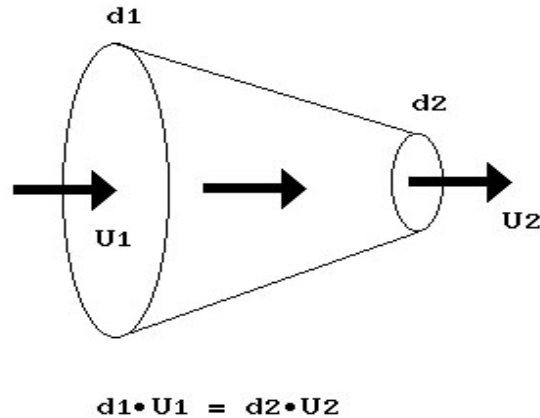


Fig. 1.13 - Legge di Leonardo -

Dove con “U” è stata indicata la velocità e con “d” la sezione. Quindi la velocità di un fluido in un condotto dipende intimamente dalla sua sezione. Più diminuisce la sezione del condotto, più aumenta la velocità con cui il fluido lo attraversa.

NOTE:

A seguito di quanto detto a proposito della legge di Leonardo sulla velocità di scorrimento dei fluidi nei condotti, si è visto che, se la sezione del condotto diminuisce, la velocità del fluido aumenta. Questo è vero tuttavia solo nel caso in cui, la velocità di scorrimento del fluido nel condotto, avviene a velocità subsonica. Nel caso in cui un fluido attraversasse il condotto con un valore di velocità superiore a quella del suono (velocità supersonica), tale velocità tenderebbe a diminuire in concomitanza alla diminuzione della sezione. Approfondimenti ulteriori di queste leggi esulano dal contesto di questo testo e di conseguenza vi invito a rivolgervi a testi più appropriati.

LABORATORI

1° Laboratorio Esperimenti sulla pressione

Target:

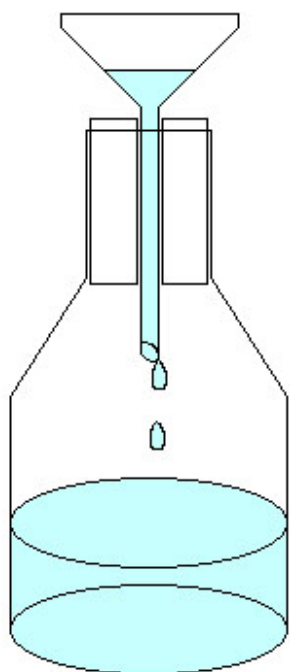
Scuola primaria

Materiali necessari:

Un bicchiere, cartoncino plastificato, una bottiglia del latte, un tappo di gomma forato, un imbuto.

Per parlare della pressione esercitata dall'aria ad un pubblico di bambini di terza o quarta elementare, recatevi a scuola portando con voi una semplice bottiglia di vetro vuota del tipo usata per contenere il latte. Prima di cominciare la lezione, chiudetene l'imboccatura con un tappo di gomma o di sughero forato all'interno del quale avete fatto passare un imbuto.

Nel fare ciò, verificate che ci sia un certo grado di aderenza fra il collo dell'imbuto e il tappo, e anche fra il tappo e la bottiglia. Sistemato il tutto, poggiate la bottiglia sulla cattedra e versate dell'acqua attraverso l'imbuto, mostrando ai vostri discenti come ad un certo punto, l'acqua non riesca più a passare. Provate a chiedere se sono in grado di dare una spiegazione al fenomeno. Dopo aver ascoltato le varie ipotesi proposte e dopo aver verificato di aver acceso al punto giusto il livello di curiosità generato dal vostro elemento



di attenzione, potete spiegare che l'acqua all'interno della bottiglia non riesce più a passare a causa dell'aria che vi è contenuta. Questa esercita una pressione verso l'alto che impedisce ad altra acqua di penetrare all'interno tramite l'imbuto. Nel parlare della pressione dell'aria mostrate anche dei palloncini colorati che gonfierete in loro presenza.

Per aumentare il livello di consapevolezza del fenomeno potete mostrare ai vostri allievi che è facile accorgersi della presenza dell'aria attorno a noi. Basta agitare veloci le mani per sentirne la consistenza, oppure sventolare un cartone robusto a mo' di ventaglio. In questa stessa sede potete provare ad effettuare il famoso esperimento del bicchiere colmo d'acqua, chiuso superiormente da un cartoncino e capovolto. Per effettuare questa esperienza ed ottenere un certo successo, munitevi di un bicchiere di vetro con bordo regolare ed uniforme, evitando di ricorrere in bicchieri di misura troppo grande in altezza.

Fig. 2.13

Riempitelo d'acqua fino all'orlo e utilizzate un cartoncino quadrato, del tipo plastificato in modo da evitare che questo assorbi l'acqua contenuta nel bicchiere. Tappate quest'ultimo, facendo attenzione a garantire un contatto uniforme del cartoncino col bordo del bicchiere. Vi consiglio di utilizzare una bacinella, che dovete assolutamente portare con voi per evitare di fare dei disastri con l'acqua che inevitabilmente finirà per riversarsi a terra. Girate il bicchiere con una manovra ferma e precisa e mostrate come, nonostante il bicchiere sia capovolto e il cartoncino semplicemente appoggiato, l'acqua non cade: vi assicuro che questo semplice esperimento costituisce un esempio veramente molto evidente della presenza della pressione atmosferica. Spiegate ai vostri allievi che la caduta dell'acqua dal bicchiere è evitata dalla pressione atmosferica che spinge il cartoncino verso l'alto (principio di Archimede). Spiegate ai vostri allievi che i nostri corpi sono abituati a sopportare tranquillamente questa pressione atmosferica e sono anche in grado di adeguarsi ai

suoi cambiamenti che avvengono quando ci spostiamo a diverse altitudini. A tutti è capitato di avvertire un senso di otturazione alle orecchie salendo o scendendo da una montagna: tale sensazione è la prima prova di come il nostro organismo è sensibile alla pressione atmosferica. A livello del mare la pressione atmosferica è approssimativamente uguale a quella esercitata dal peso di un kg sopra una superficie di un centimetro quadrato. Normalmente in questo caso diciamo che la pressione è pari a circa 1 atmosfera. Parlate anche del M.A.M., il mal di montagna, e spiegate che l'ossigeno, che risulta essere un gas relativamente pesante, è presente prevalentemente nelle zone più basse dell'atmosfera e che, per salire su alte montagne come il monte Everest, occorre dotarsi di bombole di ossigeno allo stesso modo di come fanno i subacquei quando desiderano avventurarsi nelle profondità del mare.

2° Laboratorio

Legge di Bernoulli

Target:

Scuola secondaria e primaria

Materiali necessari:

Un imbuto, una pallina di polistirolo, un asciugacapelli, un cono di carta.

La legge di Bernoulli sarà trattata in modo più approfondito nell'allegato di questo modulo. Per quanto riguarda questo laboratorio, effettueremo solamente alcune sperimentazioni che mostreranno le applicazioni fluidodinamiche di questo importante principio.

Ciò che permette ad un aquilone di galleggiare nel cielo o ad un aereo moderno di volare, è racchiuso in una forza generata da una depressione che si ottiene quando un fluido, come l'aria, lambisce i profili aerodinamici di questi oggetti. Il volo di quest'ultimi è basato su di un particolare incanalamento dell'aria sulle superfici, provocato dalla particolare geometria di queste ultime. In questo modo l'aria che circola su queste superfici genera differenze di pressione e una conseguente forza che tende a sostenere gli oggetti in aria.

Analizziamo però prima il caso particolare di un fluido che circola in un generico condotto. Possono presentarsi due possibilità: se il fluido, all'interno del condotto, si trova in uno stato di quiete, allora si viene a generare una pressione sulle pareti interne del condotto il cui valore è desumibile dalle leggi della fluidostatica che, a loro volta, dipendono dalla forza di gravità e dalla densità del fluido stesso; se invece il fluido percorre il condotto mantenendo una certa velocità, la pressione che si genera risulta inversamente proporzionale alla sua velocità di percorrenza. Se tale velocità è molto sostenuta, la pressione all'interno del condotto risulta più bassa rispetto a quella che si misura quando il fluido scorre ad una velocità minore. Questa pressione viene chiamata pressione idrodinamica.

Per quanto riguarda una semplice applicazione relativa ad un fluido che si muove molto velocemente in un condotto, mi viene in mente un esempio molto caratteristico riguardante il funzionamento della pompa per il vuoto ad acqua corrente.

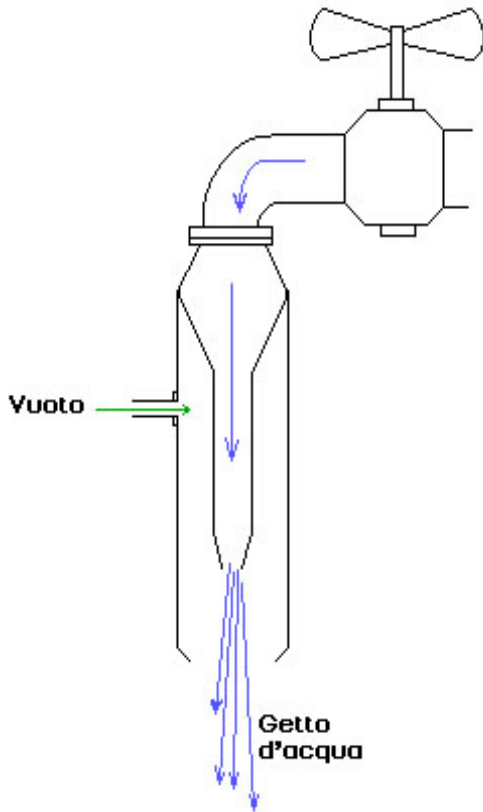


Fig. 3.13 - Vacuometro idraulico -

La pompa a vuoto ad acqua è una macchina molto semplice e poco costosa che viene spesso utilizzata quando si devono realizzare, in modo pratico e veloce, depressioni e quindi fare dei vuoti non troppo spinti. Tale dispositivo, schematizzato nella figura, è costituito da un tubo di forma particolare dotato di due camere. Una di esse è collegata tramite un raccordo ad un rubinetto in modo da lasciarsi attraversare dall'acqua.

L'altra camera attigua è collegabile al dispositivo da cui noi vogliamo togliere l'aria o fare un certo tipo di vuoto. In base alla legge di Bernoulli, più elevata è la velocità di uscita dell'acqua più forte sarà la decompressione nell'ambiente della camera collegata al tubo. Questa macchina ci permette di sottolineare il principio base che abbiamo descritto fornendoci la prova diretta del fatto che, se un fluido si muove in un condotto, la sua pressione idrodinamica tende a diminuire.

Questa diminuzione di pressione è tanto forte da poter essere sfruttata, come nel caso della pompa a vuoto ad acqua, per ottenere una decompressione relativamente intensa.

Ma un esempio molto interessante della legge di Bernoulli è offerto proprio dal volo degli aeroplani. La particolare forma posseduta dall'ala di un aereo, produce un fenomeno molto caratteristico che riesce a spiegare questa legge perfettamente. In pratica un aereo vola per effetto di una depressione che viene a generarsi sulla superficie superiore dell'ala.

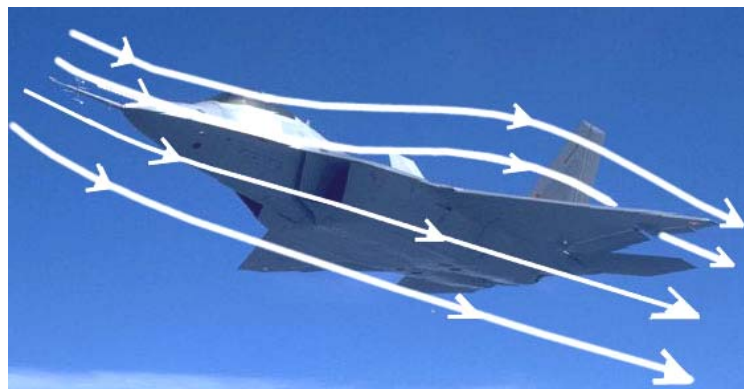


Fig. 4.13 - Profilo dei flussi d'aria che agiscono su di un F22 della Lockheed Martin -

Tale depressione crea una forza verso l'alto denominata forza di portanza. Per capire cosa succede bisogna pensare all'aereo come se fosse risucchiato verso l'alto. Il fenomeno è ottimamente spiegato dalla figura n. 5.13.

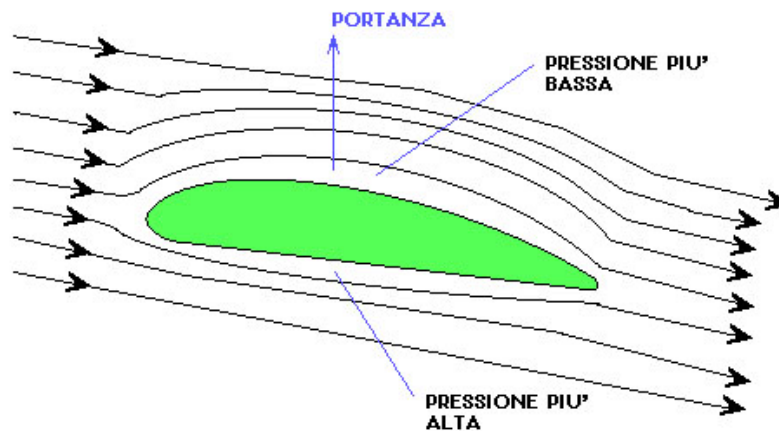


Fig. 5.13 - Schema classico dell'ala e formazione della forza di portanza -

In questo disegno si vede come la corrente d'aria fluisce lungo la superficie dell'ala dell'aereo, che ha una forma geometrica dotata di un profilo particolare. La parte di tale corrente d'aria che lambisce la superficie superiore dell'ala deve percorrere uno spazio maggiore, rispetto al percorso effettuato lungo la superficie inferiore della stessa. Infatti, mentre l'aereo si sposta, cioè l'ala corre in avanti, i flussi d'aria che scorrono sul lato superiore dell'ala non riuscirebbero a raggiungere quelli inferiori se si muovessero alla stessa velocità. Per questa ragione, la pressione fluidodinamica è più bassa su questo lato dell'ala, come abbiamo già detto a proposito del principio di Bernoulli. Poiché questa diminuzione di pressione si riscontra solo sul lato superiore dell'ala, essa genera quindi una depressione. Poiché la pressione sul lato inferiore resta costante, la differenza fra queste genera una forza di portanza. La figura n. 6.13 mostra il profilo alare di un moderno aereo americano chiamato A10 dove questa geometria risulta molto pronunciata.



Fig. 6.13 - Profilo d'ala di un A10 -

È utile tener presente che, in base a quanto detto nell'introduzione di questo testo e in altre occasioni durante l'esposizione dei moduli, ci troviamo in questo caso di fronte ad un'ennesima ed interessante opportunità comunicativa. Infatti, parlare degli aerei, diventa un'occasione da non perdere, durante una lezione svolta ad allievi giovanissimi. I ragazzi sono molto attratti da queste tecnologie, di conseguenza potete cogliere l'occasione nello spirito di educatore estremamente votato alla sua meravigliosa professione, e potrete organizzare sull'argomento "aerei caccia" il fulcro della vostra lezione.



Fig. 7.13 - Semplice esperimento che dimostra il principio di Bernoulli -

L'elemento "aerei" quindi, costituirebbe un ottimo pretesto per attrarre l'attenzione degli studenti accrescendo l'interesse e l'entusiasmo della platea che si appresterebbe a conoscere con meno difficoltà un principio fisico così importante. Anche in questo caso possiamo parlare di "**elemento di attenzione**", termine di cui ho fatto ampio sfoggio in questo testo come elemento per dare inizio a una trattazione ludica ma efficace.

Ma ora torniamo al nostro discorso sul principio di Bernoulli. Per dimostrare questo concetto attraverso semplici esperimenti ho pensato a due possibilità, entrambe molto semplici da realizzare. La prima necessita di un imbuto e di un cono fatto con carta di quaderno. È importante che il cono di carta abbia le misure volumetriche più o meno identiche o anche leggermente più grandi alla grandezza dell'imbuto adoperato. La foto mostra esattamente quello che deve essere realizzato.

Prima di effettuare la verifica, provate a chiedere alla platea cosa succede se, ponendo il cono di carta nell'imbuto, vi soffiato vigorosamente all'interno attraverso l'orifizio di base. È molto probabile che la maggior parte degli studenti si aspetti che il cono di carta, salti fuori velocemente dalla sede in cui lo abbiamo collocato prima di soffiare.

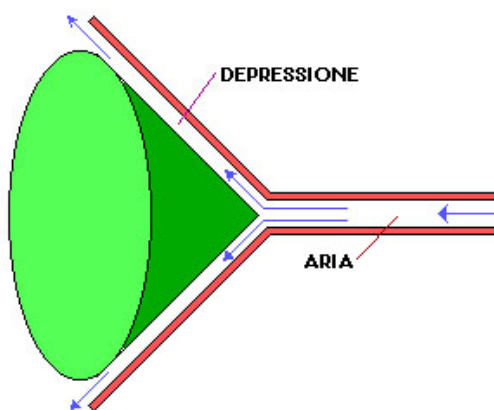


Fig. 8.13 - L'imbuto resta bloccato nella sua sede a causa della depressione esercitata dal flusso d'aria -

Dopo aver ascoltato tutte le risposte, soffiate con forza nell'imbuto e mostrate, agli increduli alunni, come tutto questo non accade. Infatti, quando soffiate con

forza, l'aria fluirà lungo l'intercapedine che esiste fra il cono di carta e l'imbuto, acquistando una certa velocità. Ma noi abbiamo appena detto che più veloce è il fluido, minore è la pressione fluidodinamica. Ne consegue che la pressione all'interno del cono, che corrisponde alla pressione atmosferica, è maggiore della depressione creata soffiando lungo il profilo dell'imbuto, con la conseguenza che il cono di carta viene schiacciato verso le pareti interne di quest'ultimo. La curiosità è che più soffiando con forza, più il cono di carta rimane saldamente spinto nell'imbuto. La figura n. 8.13 schematizza quanto appena detto.

La stessa esperienza potrebbe essere effettuata soffiando con una cannuccia fra due fogli di carta di quaderno tenuti molto vicini fra loro. La depressione tenderà far avvicinare i fogli invece che ad allontanarli. Un altro semplice esperimento che dimostra la teoria di Bernoulli può anche essere fatta utilizzando un **asciugacapelli** e una **palla di polistirolo**.

Bisogna procurarsi una palla di polistirolo delle dimensioni di circa 5 o 6 cm di diametro e un asciugacapelli abbastanza potente. È sufficiente farlo funzionare a resistenza elettrica disinserita in modo da ottenere un flusso di aria a temperatura ambiente. Ponendo la pallina a pochi centimetri dalla bocca dell'asciugacapelli è possibile osservare come questa, oscillando lievemente attorno ad una posizione di equilibrio, resta pressoché immobile ad una certa altezza dalla bocca dell'apparecchio. L'insegnante può perfino inclinare l'asciugacapelli fino a 45 gradi ottenendo una condizione di levitazione della



pallina che sorprenderà non poco il pubblico degli studenti che assistono all'esperimento. La foto 9.13, illustra appunto il caso della pallina ferma a circa 20 cm dalla bocca dell'asciugacapelli nonostante una inclinazione di 45 gradi. La pallina resta pressoché immobile intorno alla sua posizione di equilibrio grazie alla corrente d'aria che avvolge la sua superficie. Lungo il profilo superiore della palla, agisce solo la pressione atmosferica mentre, inferiormente, c'è il flusso d'aria dell'asciugacapelli che tende a spazzarla via; contemporaneamente, le linee di corrente del flusso d'aria che investono la palla, a causa del profilo di quest'ultima, risultano schiacciate uniformemente lungo il profilo inferiore fino a presentare uno schiacciamento massimo lungo l'equatore della palla.

Fig. 9.13 - Pallina di polistirolo in levitazione grazie ai principi fluidodinamica -

Tutto questo schiacciamento genera una depressione uniformemente distribuita che costituisce una vera e propria gabbia di pressione che la mantiene vincolata lungo una particolare verticale. A questo gioco di forze bisogna aggiungere il peso della palla che tende a portare quest'ultima verso il basso. La condizione di equilibrio sarà trovata ad una certa altezza in base al peso della palla, alla depressione presente nella parte inferiore della palla e alla forza del flusso d'aria che agisce dal basso verso l'alto.

3° Laboratorio

Principio di Archimede

Target:

Scuola primaria

Materiali necessari:

Pasta da modellare tipo DAS, contenitori plastici ricavabili da confezioni di uova di cioccolato, contenitore trasparente grande pieno d'acqua.

Voglio ora illustrarvi un simpatico esperimento che riesce a dimostrare molto efficacemente il principio di Archimede, la cui definizione è stata riportata nella teoria di questo modulo. Per realizzare questa dimostrazione dovete procurarvi quei contenitori plastici contenenti le sorpresine da montare che si trovano all'interno di confezioni di uova di cioccolato. Nella cavità interna di questi contenitori dovete sagomare con il DAS una forma che deve riempire più o



meno uniformemente tutto lo spazio a disposizione. La foto mostra quello che deve essere realizzato. In pratica, dovete preoccuparvi che la forma occupi tutto lo spazio disponibile ma vi consenta di poter chiudere successivamente il contenitore in modo ermetico. Le operazioni di preparazione della forma, devono ovviamente essere realizzate tempo prima in modo di

Fig. 10.13 - Contenitori plastici e riempimento di DAS -

assicurarsi di averla fatta solidificare accuratamente.

Dopo che la forma è ben secca, è possibile anche verniciarla con una vernice trasparente tipo plastificante.

Quando questa è pronta per l'uso, inseritela all'interno del contenitore di plastica ed immergete il sistema perfettamente chiuso in un contenitore d'acqua. A tali condizioni il sistema affonda. Questo fatto accade poiché il peso totale dell'involucro e della forma racchiusa in esso è notevole. Ma questo modo di esprimermi, non è corretto e non è sufficiente per stabilire se un corpo galleggia. Non possiamo affermare che un corpo galleggia perché è leggero. Questo modo di esprimersi è errato. Un transatlantico, infatti, ha un peso spaventosamente elevato, tuttavia galleggia. È più corretto esprimersi dicendo: il peso specifico totale dell'intero sistema, costituito dalla forma di Das e dai due coperchi di plastica, è più grande del peso specifico dell'acqua (vedere a tal proposito il modulo "Massa e densità"). Anzi per maggiore rigore scientifico potremo nel caso usare anche il termine "densità", che risulta più appropriato e generalizzato. Per proseguire nella comprensione del principio di Archimede procediamo nell'esperimento modificando il nostro sistema. Innanzitutto dovete prelevare l'involucro di plastica dall'acqua ed aprirlo in modo che possa essere facilmente rimontato nel modo mostrato dalla figura n.11.13.

Tramite un nastro adesivo avvicinate la forma di Das al contenitore plastico perfettamente chiuso e avvolgete il nastro in modo da realizzare un sistema unico. Assicuratevi che il sistema sia robusto, avvolgendo più spire di nastro isolante se necessario. Ora provate ad introdurre questo corpo, così sistemato, nel contenitore trasparente pieno d'acqua. In questo caso vedrete il corpo galleggiare.



Fig. 11.13 - Sistema pronto per galleggiare -

Da un'analisi superficiale potrebbe sembrare anche ovvia la cosa. Qualcuno potrebbe farvi osservare che ora c'è dell'aria all'interno del contenitore di plastica colorato. Ma questa osservazione per quanto arguta non basta a spiegare il fenomeno. Anzi, la presenza dell'aria ha modificato il peso del sistema, il quale è addirittura più pesante. Oltre a tutto questo, potremo far notare che l'aggiunta del nastro isolante che abbiamo utilizzato, contribuisce ulteriormente ad aumentare il peso del nostro sistema. Quindi esso è più pesante di prima. La ragione per cui galleggia risiede in un principio più generale cioè nel principio di Archimede, il quale dice che:

un corpo immerso in un fluido riceve una spinta fluidostatica, diretta dal basso verso l'alto, d'intensità pari al peso del volume di fluido spostato. Quello che è aumentato è il volume dell'acqua che il sistema ha spostato. Ecco perché galleggia. Quello che invece è diminuito è la densità globale del sistema.

Questa esperienza può essere realizzata anche mediante scatolette di plastica diverse da quella suggerita, composte a loro volta di altro materiale.

L'importante è che il contenitore utilizzato possa contenere un corpo che abbia un peso specifico superiore a quello dell'acqua e un'estensione in volume analoga al contenitore esterno.

Per realizzare questa esperienza in aula, come contenitore per l'acqua, mi sono servito dell'involucro cilindrico trasparente in polipropilene tipo quello che serve a contenere i Cdrom impilati in confezioni da cento. È possibile però utilizzare anche quei grossi barattoli in vetro per conserve come il contenitore in vetro che è stato adoperato per realizzare il condensatore di Leyda nel modulo "Le cariche elettrostatiche"

Se disponete di un dinamometro potete verificare e misurare direttamente la spinta di Archimede. Innanzitutto dovete procurarvi una barretta di ferro dal peso di circa 50 g sulla quale avrete fissato un piccolo occhiello di metallo per poterla agganciare con un dinamometro. Usando tale barretta è necessario disporre di un dinamometro con un fondo scala di 100g. Immergete completamente la barretta in un contenitore di vetro eventualmente graduato e colmo d'acqua.

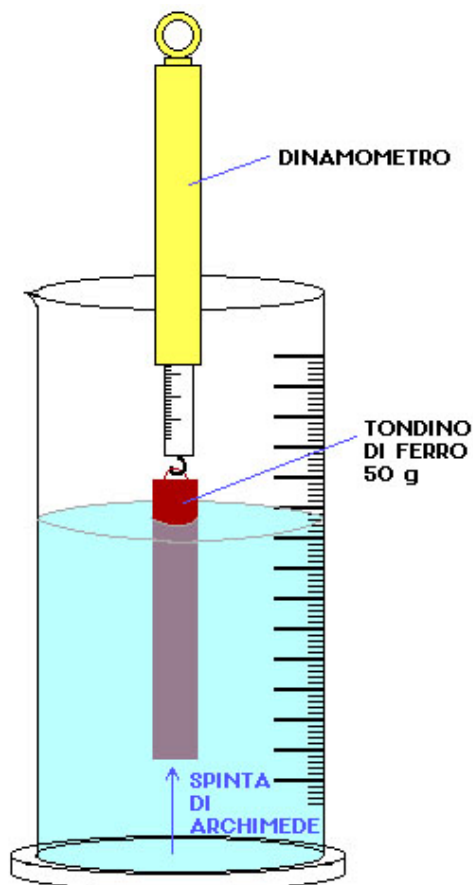
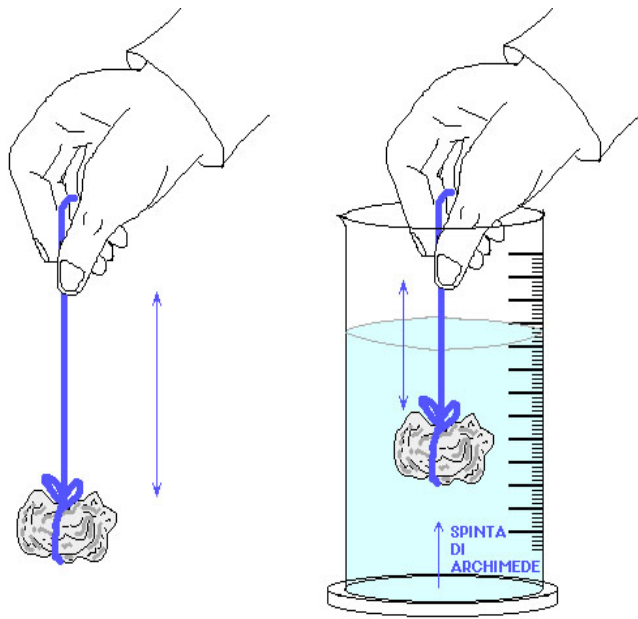


Fig. 12.13

A questo punto, con il dinamometro, agganciate la barretta e tenetela sospesa in modo che questa resti completamente immersa senza toccare il fondo. Quello che osserveremo, leggendo il valore riportato dal dinamometro in questa specifica condizione, sarà che il peso del corpo non è più uguale a 50 g ma, scenderà sensibilmente. Se al posto dell'acqua ci fosse stato del mercurio, la barretta di ferro avrebbe galleggiato perfettamente sulla superficie. La densità del mercurio è infatti circa 13 volte superiore a quella dell'acqua. A questo valore di densità è molto facile quindi, che la quantità di liquido spostato sia in grado di sprigionare una spinta che tiene a galla perfino il ferro.

Se volete proporre questo semplice esperimento ad una scuola di tipo primaria, ma non avete un dinamometro e siete impossibilitati a procurarvi il tondino di ferro, vi suggerisco un semplice metodo che potrà ugualmente farvi raggiungere lo scopo desiderato.

Attaccate, ad un semplice elastico, una pietra e fate provare ai vostri giovani allievi come, la pietra trattenuta dall'elastico, manifesta una certa forza peso. La tensione dell'elastico, e quindi la sua lunghezza, dipende da questa forza peso. A questo punto munitevi di un contenitore pieno d'acqua e mostrate come, immergendovi la pietra, l'elastico tende a ridurre la tensione. La lunghezza dell'elastico si riduce e quindi indica che la pietra ha assunto un peso inferiore. Durante la lezione sul principio di Archimede si potrebbe parlare anche della prova che serve a verificare se un uovo è fresco.



Questa esperienza, che può offrire un ottimo contributo didattico se rivolta ad un pubblico di allievi di scuola primaria, è di facilissima realizzazione. Una bacinella e due uova, di cui uno fresco, è tutto quello che occorre. Anche in questo caso vi consiglio di verificare l'esperienza poco prima di effettuarla in classe. Prima di procedere nell'esperienza, spiegherete che, la camera d'aria contenuta all'interno dell'uovo, ha una dimensione minore quando l'uovo è fresco.

Fig. 13.13 - Principio di Archimede con una pietra un bicchiere e un elastico -

Se la camera d'aria ha una dimensione più piccola l'uovo ha una densità maggiore dell'acqua e quindi tende ad affondare. Viceversa, quando passa qualche giorno, l'acqua contenuta internamente all'uovo evapora e viene sostituita dall'aria provocando l'accrescimento della camera d'aria a cui ne seguirà il galleggiamento dovuto alla diminuzione della sua densità. Questo esperimento, consente quindi di approfondire anche argomenti legati alla capacità di assorbimento del guscio dell'uovo. In questo caso, infatti, potrete parlare della possibilità che l'uovo, lasciato in frigorifero, assorba gli aromi degli altri cibi, modificando le sue proprietà organolettiche. Un breve allargamento del tema discusso, a patto che non si estenda in modo eccessivo, non potrà che migliorare l'esposizione della lezione. Prima di chiudere completamente questo argomento, voglio ricordarvi un ultimo interessante esperimento mediante il quale completare la prova. In tal caso potreste mostrare come è possibile far risalire velocemente l'uovo fresco adagiato sul fondo aggiungendo sale da cucina all'acqua in cui è immerso. Questo fenomeno si verifica poiché l'acqua salata ha una densità più elevata dell'acqua pura e di conseguenza, sempre per il principio di Archimede, il peso dell'acqua salata spostata dal volume occupato dall'uovo, avendo una densità più elevata, è in grado di produrre una spinta che equivale al peso dell'uovo o addirittura riesce ad essere superiore. Ricordiamo agli allievi che il mar Morto, che si trova in Israele, è caratteristico per la sua elevata salinità. Grazie a questa caratteristica è molto facile galleggiare al suo interno anche senza nuotare (esempio come ricordate già citato precedentemente nel modulo 2 quando parlavamo della densità).

4° Laboratorio

Legge di Jurin e prove con la tensione superficiale

Target:

Scuola secondaria

Materiali necessari:

Due beker o bicchieri in vetro trasparente, due tubicini in vetro da 1 mm di diametro interno, blu di metilene, detersivo per i piatti.

Ecco una semplice idea per dimostrare velocemente una legge fisica legata ad alcune caratteristiche dei fluidi. Se vi procurate due bekerini o anche due bicchieri perfettamente trasparenti e due tubicini in vetro di piccolo spessore, potete divertirvi a verificare le leggi sulla tensione superficiale dei liquidi e quindi anche la legge che regola l'altezza della colonna di liquido in un tubo capillare (legge di Jurin). Per la legge della capillarità, un liquido generico statico, che viene in contatto con un tubo capillare, sale all'interno di esso fino ad un'altezza che dipende dalla sezione del capillare. Se lasciamo un tessuto, come una maglia di lana, una sciarpa o altro, immerso parzialmente in una certa quantità di acqua, dopo un po' di tempo vedremo che l'acqua lo ha bagnato completamente. Questo fatto accade poiché le fibre del tessuto, che sono molto ravvicinate fra di loro, producono degli spazi fra una fibra e quella accanto che si comportano come capillari molto sottili e l'acqua sale attraverso le fibre bagnando, in breve, tutto il capo. Ma vediamo correttamente quali sono i parametri coinvolti in questo fenomeno riferendoci ad un tubo capillare di tipo cilindrico:

$$h = \frac{2 \cdot \tau \cdot \cos \theta}{\sigma \cdot g \cdot r}$$

La formula appena presentata, conosciuta come legge di Jurin, permette di calcolare l'altezza del liquido in un capillare. Bisogna conoscere la tensione superficiale del liquido " τ ", la densità del liquido " σ ", l'accelerazione di gravità " g ", il raggio " r " del capillare e l'angolo del menisco formato da quest'ultimo sulle pareti del capillare. Senza entrare nei dettagli della formula appena data, che peraltro viene analizzata nell'allegato di questo modulo, è facile constatare che tale altezza, oltre a dipendere dalle dimensioni del tubicino, dipende anche dalla tensione superficiale del liquido. Se nel nostro esperimento usiamo come liquido l'acqua, possiamo divertirci a modificare il valore della sua tensione superficiale e mostrare un paio di cose interessanti. Innanzitutto l'esperienza può servire semplicemente per dimostrare la legge di Jurin, ma, contemporaneamente si può utilizzare l'esperimento per verificare e calcolare la tensione superficiale dei liquidi. In questo caso, infatti, mostreremo come, aggiungendo del detersivo all'acqua, la tensione superficiale di quest'ultima diminuisce.

Spero vi stiate accorgendo come il meraviglioso mondo delle osservazioni scientifiche riguarda molti contesti multidisciplinari. La stessa esperienza, infatti, può essere utilizzata in diversi tipi di lezioni. Tale verifica per esempio, potrebbe essere inserita con successo in una lezione di chimica dedicata ai detersivi. Questi prodotti, infatti, riducono fortemente la tensione superficiale dell'acqua e questa è una delle fondamentali ragioni che spiega la loro capacità di detergere la sporcizia. Purtroppo di contro, i detersivi hanno anche un impatto molto importante sull'inquinamento del pianeta, ma, questo è un altro argomento.

Per proseguire nell'esperienza prendete due beker o due bicchieri di vetro, riempiteli per un terzo di acqua addizionata con blu di metilene che serve a colorare l'acqua in modo da rendere più visibile il livello di liquido nel capillare. Aggiungete una quantità di colorante tale da rendere l'acqua abbastanza carica di colore blu. Procuratevi due tubicini di vetro che hanno un diametro interno di circa 1 mm. Questi tubicini possono essere acquistati presso un venditore di vetreria per laboratori chimici. Per quanto riguarda la mia esperienza, ho

adoperato con successo dei tubi capillari contagocce che servono per dosare i liquidi nelle analisi volumetriche. La confezione è costituita da una scatola contenente un centinaio di tubicini di circa 4 cm di lunghezza. Prendetene due e collocateli all'interno dei beker posizionandoli in modo opportuno. A questo punto osservate come il livello del liquido si porta su ciascuno dei due capillari ad una medesima altezza. A questo punto, a uno dei due beker aggiungete alcune gocce di detersivo liquido per i piatti. Immediatamente vedrete che in esso l'altezza della colonna di liquido nel capillare diminuisce.

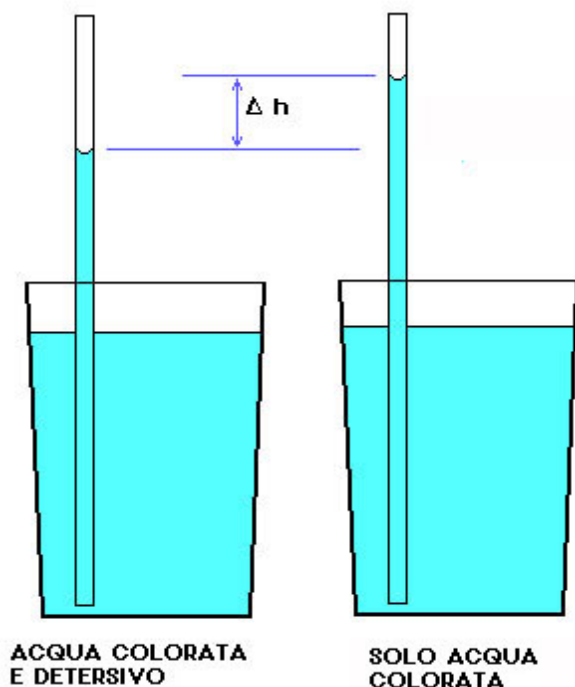


Fig. 14-13 - Legge di Jurin -

Tutto ciò a dimostrazione che la presenza del detersivo ha abbassato la tensione superficiale dell'acqua. Tale abbassamento di tensione, in accordo con la formula matematica che esprime la legge di Jurin, giustifica l'evidente abbassamento del livello del liquido all'interno del capillare. È ovvio che l'aggiunta del detersivo potrebbe aver modificato anche la densità dell'acqua ma, l'aggiunta di poche gocce, in relazione alla quantità di acqua colorata totale, può essere considerata trascurabile. In considerazione anche del fatto che, se provate a verificare la densità di un detersivo per i piatti, vi accorgete che essa è molto vicina a quella dell'acqua. Mi sono preso la briga di misurarla ed è risultata pari a $1,05 \text{ kg/dm}^3$. Di conseguenza, supponendo costante l'accelerazione di gravità "g", così come lo è lo spessore dei due capillari, l'altezza del liquido dipende esclusivamente dalla tensione superficiale dell'acqua. Se durante l'esperienza osservate una lieve schiarita della colorazione blu dell'acqua contenuta nel beker in cui avete posto il detersivo,

non vi preoccupate. I detergenti modificano il colore del blu di metilene. Anzi, esiste proprio un test-analitico che prevede di usare il blu di metilene come reattivo per misurare la quantità dei detergenti in un'acqua.

Un classico fra le esperienze che tentano di dimostrare l'esistenza della tensione superficiale è quella tramite la quale si pone un piccolo ago per cucire sulla superficie dell'acqua contenuta in un bicchiere. È un'esperienza molto semplice da realizzare e che sicuramente suscita molto stupore ad un pubblico di piccole leve di una scuola primaria. Tuttavia per ottenere il risultato voluto, cioè far galleggiare l'ago in modo da non farlo affondare, occorre provvedere ad effettuare la manovra di inserzione con molta cura e mano ferma. Se volete realizzare l'esperienza con la sicurezza di avere un buon risultato, vi consiglio di porre sulla superficie dell'acqua prima una strisciolina di carta velina e indi porre sulla stessa l'ago. La strisciolina di carta piano piano, si inzupperà d'acqua e finirà per affondare, mentre l'ago rimarrà alla superficie. Questa esperienza dimostra che, per quanto l'acciaio di cui è costituito l'ago ha una densità molto superiore all'acqua non affonda, e questo grazie alla tensione superficiale dell'acqua che riesce a tenerlo a galla. Ovviamente questo succede solo nel caso dell'ago, dato il suo basso peso e la sua forma minuta.

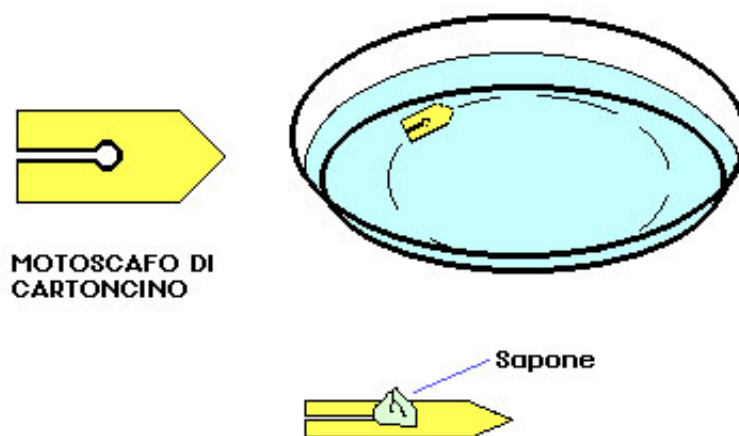


Fig. 15.13 - Motoscafo a sapone -

Un altro esperimento molto simpatico, che potete preparare per mostrare le proprietà della tensione superficiale dei liquidi e allo stesso tempo la capacità di un detergente di influenzare questa caratteristica, è il motoscafo che funziona con il motore a tensioattivi. Si tratta in realtà di una sagoma di cartoncino (meglio usare il tipo plastificato) realizzata come mostra la figura. Sull'intaglio deve essere posto un pezzettino di sapone.

A questo punto se ponete il cartoncino in una bacinella piena d'acqua, vedrete la sagoma partire rapidamente. Se l'intaglio è effettuato decentrato, la piccola imbarcazione si muoverà all'interno della bacinella con un moto circolare. La spiegazione di questo curioso fenomeno è semplice. Il detergente, come abbiamo visto nell'esperienza della legge di Jurin, riduce la tensione superficiale dell'acqua. Quindi, poiché nella sede dell'intaglio a contatto con l'acqua abbiamo posto un pezzo di sapone, questo si scioglie con una certa velocità creando una zona, in prossimità dell'imbarcazione, a tensione superficiale molto più piccola dell'ambiente circostante. È risaputo che, se in un liquido si crea un gradiente di tensione superficiale fra due zone vicine, si instaura una corrente di liquido dalla zona a bassa tensione superficiale verso quella ad alta tensione superficiale. Tale corrente trascina quindi la sagoma

lungo la sua direzione. Inoltre, possiamo anche osservare che il sapone posto sulla sagoma, sciogliendosi velocemente nel liquido, imprime una certa forza di reazione all'imbarcazione e quindi un movimento. Vi ricordo che, appena la superficie della bacinella si coprirà di detersivo, la vostra imbarcazione si fermerà. Per continuare il vostro esperimento, se la vostra sagoma di cartone non si è ancora inzuppata, dovete cambiare l'acqua della vostra bacinella. L'esperimento ovviamente funziona con diversi tipi di sostanze tensioattive. Quindi diversi detersivi possono far funzionare la vostra imbarcazione e persino un pezzetto di canfora può funzionare abbastanza bene.

Le Gerridi sono insetti che sfruttano la tensione superficiale per galleggiare sulla superficie dei corsi d'acqua. Questi insetti possono essere trovati facilmente durante una passeggiata in montagna oppure in campagna lungo le anse dei fiumi o in piccolo stagni o anche laghetti. Essendo molto leggeri, questi animaletti riescono a restare a galla, senza sprofondare allo stesso modo nel quale l'ago dell'esperimento descritto in precedenza, riusciva a rimanere sospeso sulla superficie del bicchiere d'acqua.

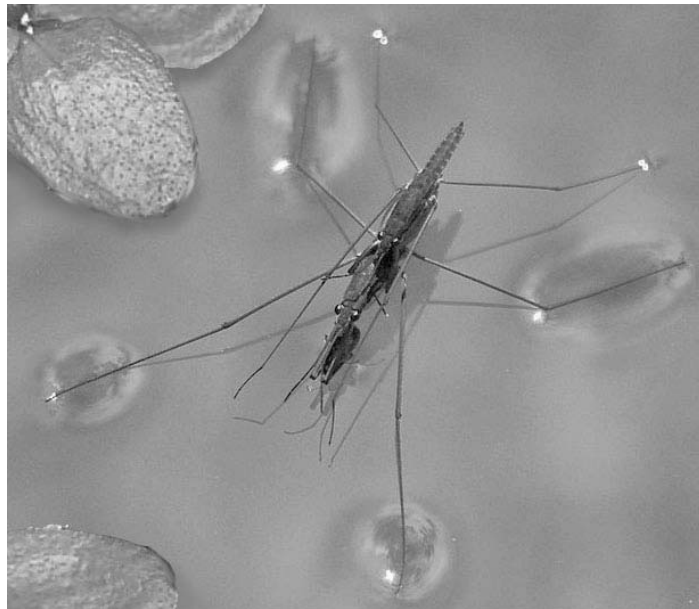


Fig. 16.13 - Gerridi sospese sulla superficie di un laghetto -

APPENDICE:

Sostanza	τ	Sostanza	τ
Isopentano	13.7	Ioduro di etile	29.9
Nichel carbonile	14.6	Solfuro di carbonio	32.3
Etere dietilico	17.1	Ioduro di metilene	50.8
N-esano	18.4	Acqua	72.8
Etilmercaptano	21.8	Mercurio	476
Bromuro di etile	34.2	Argento	800
Tetracloruro di carbonio	26.7	Oro	1000
Benzene	28.9	Rame	1100

Tabella che mostra il valore della tensione superficiale ($\text{N m}^{-1} \cdot 10^3$) di alcuni liquidi a 293 °K (20 °C) e di metalli fusi

Tensione superficiale		
Liquido	Temperatura (°C)	Tensione superficiale (Dine cm^{-1})
Acqua	0	76
Acqua	20	72
Acqua	50	68
Acqua	100	59
Acido acetico	20	27
Alcool etilico	20	22
Benzene	20	29
Bile	20	44
Etere etilico	20	17.0
Glicerina	17	65
Olio d'oliva	20	32
Latte di Vacca	20	50
Mercurio	18	500
Oro fuso	1070	612
Petrolio	18	30
Platino fuso	2000	1820
Piombo fuso (nel vuoto)	610	421

Tabella 1/2 che mostra, per alcune sostanze, il valore della tensione superficiale in dine cm^{-1}

Tensione superficiale		
Liquido	Temperatura (°C)	Tensione superficiale (Dine cm⁻¹)
Siero sanguigno	20	67
Sodio fuso (nel vuoto)	100	206
Zolfo fuso	141	58
Urina	20	70
Vetro fuso	1300	150
Zinco fuso (in CO₂)	360	967

Tabella 2/2 che mostra, per alcune sostanze, il valore della tensione superficiale in dine cm⁻¹

1 dyne = 10⁻⁵Newton -- 1 dyne = 1.02 10⁻⁶ kg
moltiplicare per 10⁻³ i termini della terza colonna per esprimere i valori della tensione superficiale in N/m

TABELLA DELLA VISCOSITÀ DINAMICA		
Sostanza	°C	(μ) in centipois
Acido cloridrico 30% (in peso)	20	2.05
Acido nitrico 60% (in peso)	20	2.24
Acido solforico 100%	20	25.4 - 44.94
Acido acetico 100%	20	1.222
Acetone	0	0.401
" "	20	0.331
Alcol Etilico	10	1.451
" "	20	1.194
Acqua	10	1.308
" "	20	1.005
	30	0.8
	40	0.65
	50	0.55
	60	0.47
	70	0.41
	80	0.36
	90	0.32
	100	0.28
Alcol Metilico	0	0.808
" "	20	0.593

Tabella 1/2 che mostra la viscosità di alcune sostanze liquide

TABELLA DELLA VISCOSITÀ DINAMICA		
Sostanza	°C	(μ) in centipois
Cloroformio	0	0.699
" "	20	0.563
Clorobenzolo	20	0.799
Dicloroetilene	25	0.785
Eptano	0	0.524
" "	20	0.416
Esano	0	0.401
" "	20	0.326
Etere etilico	-40	0.461
" "	-20	0.326
" "	20	0.245
Formammide	25	3.30
Glicerina	2.8	4220
" "	20	1069
Olio di ricino	20	1000
Mercurio	20	1.55
Pentano	20	0.23
n-Propanolo	25	1.97
Piridina	25	0.882
Solfuro di carbonio	0	0.438
" "	20	0.376
Toluene	0	0.772
" "	20	0.59
Oli per automobili		
Fluidi	50	45 a 53
Semi fluidi	50	70 a 78
Semi densi	50	90 a 1100
Densi	50	110 e più
Ammoniaca	-34	0.256
Benzolo	0	0.900
" "	20	0.647

Tabella 2/2 che mostra la viscosità di alcune sostanze liquide

Viscosità acqua di mare (poise)				
Salinità %p/p	0	10	30	35
Temperatura (°C)				
0	0.0179	0.0182	0.0188	0.0189
20	0.0101	0.0103	0.0107	0.0109
30	0.0080	0.0082	0.0086	0.0087

Tabella che mostra la viscosità dell'acqua di mare in base a precisi valori di salinità e temperatura

NOTE:

La viscosità è una proprietà dei fluidi che indica la resistenza allo scorrimento. Viene indicata da “ μ ” o anche da “ η ”. La fisica individua due grandezze fondamentali, La **viscosità assoluta o dinamica** e quella **Cinematica**.

In base alla sua definizione matematica, la viscosità dinamica è dimensionalmente espressa come una forza sopra una superficie per un tempo, ovvero da una pressione per un tempo e quindi anche (massa diviso lunghezza e tempo). Pertanto l'unità di misura SI della viscosità è il **Pa·s**.

1 Pa·s equivale a **1kg·1s⁻¹·m⁻¹** e a **10 poise** (da Jean Louis Marie Poiseuille) che è la vecchia unità del sistema cgs: 1 poise = 1/10 Pa * s = 1g·1s⁻¹·cm⁻¹;

Per la misura della viscosità assoluta o dinamica è comunque molto usato il **centipoise**, **cP**, corrispondente al millipascal per secondo, **mPa·s**. In queste unità la viscosità dell'acqua a temperatura ambiente è circa 1 cP a 20 °C.

Ad esempio, il mercurio, risulta avere una viscosità dinamica 1,7 volte maggiore di quella dell'acqua, ma a causa del suo elevato peso specifico, esso percola molto più rapidamente da uno stesso foro a parità di volume. In effetti la viscosità cinematica dell'acqua è circa otto volte maggiore di quella del mercurio a temperatura ambiente. Poiché la viscosità cinematica si ricava semplicemente dal rapporto tra viscosità dinamica e densità, dimensionalmente è espressa da L^2/T dove L è una lunghezza e T è il tempo.

L'unità di misura della viscosità cinematica è lo **stokes** (St) (da George Gabriel Stokes), ma comunemente viene usato il sottomultiplo **centistoke** (cSt).

Nel SI la viscosità cinematica è espressa al **m² /s**, che corrisponde a **10⁶ cSt**.

Molto interessante è il caso dell'elio He⁴ che sotto la temperatura di 2,17 °K ha una viscosità pari a zero (Elio superfluido). L'elio He³ (isotopo dell'elio 4) raggiunge una viscosità pari a zero solo ad una temperatura 1000 volte inferiore.

Alcuni ricercatori sono propensi ad accettare l'affermazione che i solidi possono essere considerati liquidi che hanno una viscosità superiore a **10¹² Pa·s**. Questa asserzione può essere accettata facilmente considerando (come abbiamo già detto in un modulo precedente) che in alcuni casi le vetrate di chiese molto antiche mostrano uno spessore alla base notevolmente più ampio di quello presentato alla sommità. In pratica, la struttura vetrosa amorfa, con il lento proseguire degli anni, tende a diffondere verso il basso a causa della forza di gravità.

ALLEGATO:

Legge di Bernoulli

Nei laboratori di questo modulo abbiamo parlato ampiamente della legge di Bernoulli ma, per essere completi nella trattazione di questo importante teorema, dobbiamo dire ancora qualcosa in modo tale da poter definire la legge fondamentale da cui scaturiscono tutte le considerazioni e gli esempi che abbiamo fatto nei laboratori.

Consideriamo un fluido, per esempio l'acqua, circolante in un condotto tramite un moto che gli consente di muoversi da un punto S1 a un punto S2. Supponiamo inoltre che la sezione della condotta nel punto S1 sia maggiore della sezione nel punto di arrivo S2. Quello che vogliamo determinare è il lavoro totale compiuto dall'acqua mentre percorre la direzione che va da S1 a S2.

Proviamo per semplicità a considerare una frazione di volume " ΔV " dell'acqua, in modo da determinare per questa frazione di liquido il lavoro totale, che poi non è altro che l'energia totale.

La pressione dell'acqua quando il volume unitario " ΔV " entra nel tratto di condotto considerato attraverso la sezione S1, ha valore " P_1 " mentre, all'uscita dello stesso tratto attraverso la sezione S2 la pressione assume il valore " P_2 ". Quindi le forze di pressione compiono un lavoro pari a :

$$W = \Delta V \cdot (p_1 - p_2)$$

Questo è il valore dell'energia totale scambiata dall'acqua. Per ottenere una relazione generale dobbiamo far sparire il termine di volume unitario " ΔV " determinando il valore di questa energia in un altro modo.

In un qualsiasi sistema fisico in trasformazione, l'energia totale è sempre la somma di due termini. Il primo è il termine di energia potenziale, il secondo è il termine di energia cinetica.

Scriviamo allora la relazione che tiene conto della differenza di energia potenziale scaturita dal fatto che la frazione di volume si sposta nella condotta da un'altezza h_1 ad un'altezza h_2 . La relazione è la seguente:

$$W_p = m \cdot g \cdot h = \Delta V \cdot \sigma \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

Abbiamo sostituito al posto della massa " m " il prodotto fra la densità dell'acqua " σ " e la differenza di volume " ΔV ".

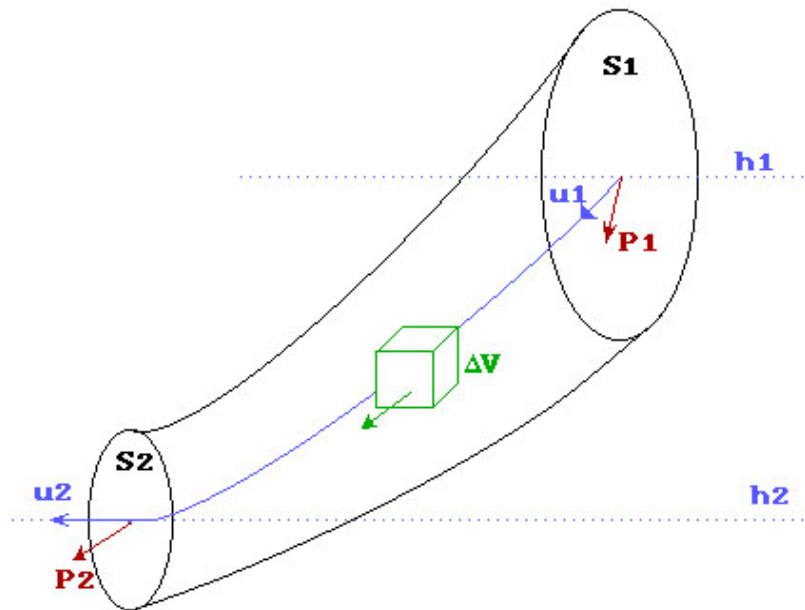


Fig. 16.13 - Legge di Bernoulli -

Ma se l'acqua si muove con velocità "u" il volume unitario "ΔV" è caratterizzato anche da una energia cinetica il cui valore risulta espresso dalla relazione:

$$W_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (u_2^2 - u_1^2) = \frac{1}{2} \cdot \Delta V \cdot \sigma \cdot (u_2^2 - u_1^2)$$

Quindi possiamo scrivere la seguente relazione sommando tutti i contributi di energia precedenti e uguagliarli al lavoro delle forze di pressione, otteniamo quindi:

$$\Delta V \cdot (p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \cdot \Delta V \cdot \sigma \cdot (u_2^2 - u_1^2) + \Delta V \cdot \sigma \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

Dividendo tutti i termini per "ΔV" possiamo semplificare l'equazione in:

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot (u_2^2 - u_1^2) + (\sigma \cdot g \cdot (h_2 - h_1))$$

Riordinando fra i due membri abbiamo:

$$p_1 + \sigma \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot u_1^2 = p_2 + \sigma \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot u_2^2 = k$$

Ove "k" è intesa come "costante" cioè i due termini di energia si equivalgono.

Quest'ultima equazione costituisce il teorema di **Bernoulli**. **“Per un punto qualsiasi di un liquido in movimento, la somma della pressione idrostatica p , dell'energia potenziale per unità di volume “ $\sigma g h$ ” e dell'energia cinetica per unità di volume $\frac{1}{2} \sigma u^2$ è costante”** In parole più semplici la legge stabilisce che l'energia totale posseduta da un fluido in movimento “W” è la somma di tre termini in cui, oltre al termine cinetico, abbiamo il termine potenziale che dipende dall'altezza e il termine di pressione. Questa equazione è valida nel caso di liquidi reali in cui possiamo trascurare gli effetti della viscosità.

Questa equazione è una delle leggi più importanti poiché è molto utilizzata soprattutto nel caso del progetto di condotte forzate. Queste ultime non sono altro che le condutture che trasportano l'acqua presente ad un determinato livello (per esempio una diga) fino a valle, dove sono posizionate le turbine che trasformano l'energia dell'acqua in energia di movimento e quindi, successivamente in energia elettrica.

Legge di Jurin

Se analizziamo una sostanza liquida che riempie un determinato contenitore, risulta molto importante stabilire come si presenta la superficie del liquido a diretto contatto con le pareti di quest'ultimo. Per ragioni legate al tipo di legame chimico presente fra le molecole che costituiscono il liquido, e al tipo di materiale usato per il contenitore, la superficie del liquido presenta quasi sempre un menisco. Questo menisco può avere un raggio di curvatura interno oppure esterno a seconda del valore della tensione superficiale del liquido. Nella maggior parte dei contenitori, la forma e la curvatura del menisco di un liquido è prevalentemente dipendente dalla tensione superficiale e dalla densità del liquido stesso. Nel caso particolare di capillari, la tensione superficiale e la densità del liquido influiscono sulla determinazione dell'altezza che il liquido presenta lungo il capillare.

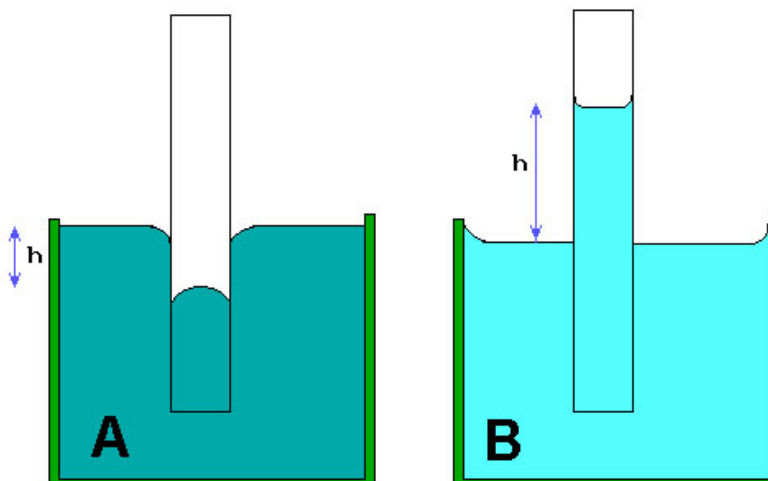


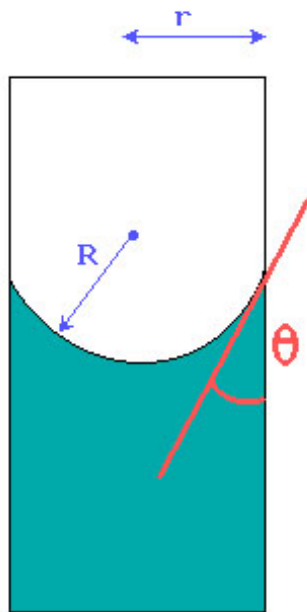
Fig. 17.13 - Forma del menisco in un vaso capillare -

Nella figura si vede come il liquido “A” (per esempio mercurio), presenta un menisco con raggio di curvatura interno e per particolari condizioni della

dimensione del capillare l'altezza è negativa. Nel caso "B" invece il menisco ha un raggio di curvatura esterno e sale lungo le pareti del capillare ad un'altezza "h". La formula matematica che regola l'altezza di un liquido in un tubo capillare si chiama legge di Jurin:

$$h = \frac{2 \cdot \tau \cdot \cos \theta}{\sigma \cdot g \cdot r}$$

Dove "h" è l'altezza della colonna di liquido nel capillare misurata dalla superficie libera del liquido contenuto nel contenitore principale, come mostra la precedente figura, "τ" è la tensione superficiale del liquido, "σ" è la densità del liquido, "g" è l'accelerazione di gravità valida in quel punto, "r" il raggio del capillare e l'angolo "θ" è l'angolo del menisco vedi figura 18.13 che dipende a sua volta dal raggio di curvatura e dal raggio del capillare secondo la seguente relazione:



$$\cos \theta = \frac{r}{R}$$

Appare evidente che il valore del coseno dell'angolo di curvatura può essere positivo o negativo a seconda se il menisco abbia un raggio di curvatura esterno oppure interno. In questo modo la relazione matematica può tenere conto sia della possibilità che l'altezza "h" sia superiore al livello della superficie del liquido in cui è immerso il capillare, sia che l'altezza del liquido contenuto nel capillare sia al di sotto del pelo libero del liquido.

Fig. 18.13

Legge di Stevin

Simon Stevin (1548-1620) ingegnere e fisico olandese, stabilì la legge che regola le pressioni all'interno di liquidi pesanti. L'enunciato di tale legge espone che: **in un punto interno di un liquido a riposo, soggetto alla sola forza di gravità, la pressione non dipende dalla forma del recipiente ma solo dal peso specifico del liquido e cresce proporzionalmente alla profondità, restando uguale per i punti di uno stesso piano orizzontale detto superficie di livello.** Si ricava quindi una semplice formula, che permette di

determinare la pressione “P” ad una certa profondità “h”, conoscendo il peso specifico “ p_s ” del fluido.

$$P = p_s \cdot h$$

A seguito di quello che abbiamo visto nel precedente paragrafo per quanto riguarda la legge di Jurin, risulta importante considerare che grazie alla legge di Stevin, per quanto piccolo possa essere il diametro di un capillare non potremo mai avere, nel caso dell’acqua, un’altezza “h” superiore ai 11 metri. Infatti, una Colonna d’acqua di 11 metri produce una pressione che è pari a quella atmosferica. Quest’ultimo caso, costituisce un importante parametro di progetto che tende a limitare l’altezza di prevalenza di aspirazione di una pompa che deve aspirare l’acqua contenuta in un pozzo. La pompa, se connessa in aspirazione, deve essere collocata ad una distanza inferiore ai 10 metri di altezza dal pelo dell’acqua.

NOTA 1:

Il bravo lettore non dimentichi che la densità dell’acqua è anche il suo peso specifico (P_s) risulta pari a 1 kg/dm^3 Se volessimo calcolare la pressione in Pascal dobbiamo considerare che, nel caso dell’acqua, il valore che dobbiamo adoperare nella formula deve essere pari a 1000 kg/m^3 , inoltre l’equazione verrebbe moltiplicata per 9,81. Se non moltiplichiamo per 9,81 la pressione risulterebbe espressa, come il lettore potrà constatare facilmente, in kg/m^2

NOTA 2:

Ricercatori dell’Università di Danimarca in Lyngby nel 2006 hanno creato forme geometriche simili a cerchi, stelle a 3 punte, pentagoni ed esagoni) in vortici di acqua in un secchio cilindrico. Le forme appaiono facilmente quando il secchio ruota ad una velocità pari a sette rivoluzioni per secondo. Le figure osservate appaiono molto simili a quelle conosciute come i “ Solidi Platonici “
Anche recentemente, all’Università di Oxford, un gruppo di fisici ha riprodotto in laboratorio strutture esagonali facendo ruotare dell’acqua all’interno di un cilindro. Il contenitore con una capacità di 30 litri d’acqua viene posto in rotazione con una certa velocità. All’interno di questo contenitore è presente un anello dotato di una velocità di rotazione maggiore di quella del contenitore principale. Le figure sono state osservate per contrasto grazie a inchiostri colorati. Queste ricerche sono state fatte con il tentativo (potremo dire ben riuscito) di ottenere in laboratorio un modello che giustificasse la grande struttura esagonale scoperta al polo nord dell’atmosfera del pianeta saturno dalle sonda Voyager nel 1988 è confermato dalla sonda Cassini nel 2006.