



Università degli studi di Ferrara

## PERCORSO DI DATTI CO

L'equilibrio dei corpi, statica e idrostatica.  
Elementi di dinamica dei fluidi.

20 febbraio 2008

SSIS - VIII ciclo, II anno  
Classe A049 - Matematica e Fisica  
Specializzando: Maria Vittoria Ludovico

Supervisor  
Minni Fabiano  
Neri Davide  
Tomasi Luigi

La sperimentazione ministeriale P.N.I. (Piano Nazionale per l'Introduzione dell'Informatica) viene attuata nel Liceo dal 1988, allo scopo di offrire una formazione scientifica moderna, in sintonia con le nuove impostazioni culturali e con le attuali esigenze del mondo del lavoro. Coinvolge gli insegnamenti di matematica e fisica per l'intero arco dei cinque anni (cinque ore settimanali di matematica e tre di fisica ogni anno sia al biennio che al triennio) e prevede lo svolgimento di nuovi programmi per entrambe le materie che intrecciano nuovi contenuti a nuove metodologie, in particolare quelle informatiche.

Si utilizzano, in media con frequenza settimanale, il laboratorio di fisica per la realizzazione di esperimenti ed il laboratorio di informatica dove l'attività didattica si avvale di ambienti e di linguaggi di programmazione per la costruzione di algoritmi e per la risoluzione di problemi, di fogli elettronici per l'elaborazione e l'analisi di dati sperimentali e statistici, di ambienti di calcolo simbolico e di costruzione e manipolazione di figure geometriche.

Per la fisica è previsto l'inserimento della materia già dal biennio, come introduzione, soprattutto metodologica, allo studio dei fenomeni fisici. I contenuti, legati in particolare alla definizione delle grandezze, alle proprietà della materia ed all'energia, sono affrontati per temi trasversali ed in modo propedeutico allo studio sistematico operato al triennio. L'impostazione è operativa e mirata alla realizzazione di esperimenti, alla risoluzione di problemi ed all'uso di strumenti informatici. Infatti nelle finalità metodologiche per il programma di fisica per il biennio degli istituti secondari superiori si afferma: "Lo studio della fisica nella scuola secondaria superiore di secondo grado concorre, attraverso l'acquisizione delle metodologie e delle conoscenze specifiche della disciplina, alla formazione della personalità dell'allievo, favorendone lo sviluppo di una cultura armonica tale da consentire una comprensione critica e propositiva del presente e costituire una solida base per la costruzione di una professionalità polivalente e flessibile". Si sottolinea inoltre che "Alla realizzazione degli esperimenti nel laboratorio di fisica deve essere dedicato almeno il 30% del tempo disponibile; pertanto, nella formulazione dell'orario scolastico, si farà in modo che due ore di lezione siano consecutive per venire incontro alle esigenze di laboratorio".

Il programma è costituito da una parte introduttiva che si sofferma sulle conoscenze prerequisite e sul collegamento con quanto già studiato nella scuola secondaria di primo grado e da quattro grandi temi, di cui quello che verrà trattato nel presente per corso didattico è il primo:

1. l'equilibrio e i processi stazionari;
2. il movimento;
3. la propagazione della luce;
4. l'energia: sue forme, conservazione e trasformazione.

Lo spazio dedicato a ciascun tema e l'ordine proposto possono essere diversi a giudizio degli insegnanti nel contesto del piano di lavoro programmato. E' anche possibile ritornare sugli stessi temi secondo un processo di approfondimento a spirale, ma si deve comunque puntare ad una trattazione che tenga conto di tre elementi:

- impostazione concettuale e costruzione teorica;
- esperimenti di laboratorio;
- risoluzione di problemi.

Durante lo svolgimento dei singoli temi deve essere prevista la lettura di pagine a carattere storico per meglio evidenziare come siano state modificate le teorie scientifiche con il progredire delle conoscenze e con l'acquisizione di nuove metodologie. In ogni fase dell'insegnamento della disciplina dovrà, in particolare, essere data massima rilevanza all'aspetto metodologico. Al termine del biennio, gli allievi dovranno avere anche acquisito la consapevolezza del valore culturale della fisica, essenziale non solo per la risoluzione di

problemi scientifici e tecnologici, ma soprattutto per il contributo alla formazione generale della loro personalità. Inoltre la scansione degli argomenti deve essere coordinata per quanto possibile con quelle delle altre discipline, in particolare della matematica.

Al triennio si affronta uno studio organico dei vari ambiti della fisica trattando anche tematiche proprie del Novecento, quali ad esempio la teoria dei campi, l'analisi dei sistemi di riferimento e la relatività einsteiniana, le strutture atomiche in relazione allo svilupparsi delle teorie quantistiche, con un approccio che passa dagli aspetti empirici, sperimentali a quelli concettuali, di ricostruzione delle varie teorie e dei loro percorsi storici, di costruzione ed analisi di simulazioni e di modelli.

Il programma riguarda gli allievi provenienti dalle classi del biennio nelle quali è stato svolto l'insegnamento della Fisica secondo le indicazioni del P.N.I.

Nelle indicazioni metodologiche sono indicati alcuni concetti già affrontati in prima approssimazione nel biennio e che devono essere ripresi e formalizzati nella classe terza in relazione non solo allo sviluppo intellettuale raggiunto dagli allievi, ma anche alle conoscenze matematiche acquisite.

Il programma è costituito dai seguenti temi:

- forze e campi;
- sistemi di riferimento e relatività
- principi di conservazione - processi reversibili e irreversibili;
- onde meccaniche ed elettromagnetiche;
- struttura della materia;
- l'Universo fisico.

Il tema 1 si propone di formalizzare e completare le conoscenze acquisite nel corso del biennio e non sufficientemente approfondite o per mancanza di supporti matematici o per mancanza di sufficienti capacità di astrazione degli allievi.

Nella programmazione dell'attività didattica il docente avrà presente che la maggior parte dei contenuti di questo primo tema è propedeutica agli argomenti dei temi successivi.

Lo studio della fisica nel triennio, oltre a fornire allo studente un bagaglio di conoscenze scientifiche adeguato, deve mirare allo sviluppo di specifiche capacità di vagliare e correlare le conoscenze e le informazioni scientifiche, raccolte anche al di fuori della scuola, recependole criticamente e inquadrando in un unico contesto.

Al termine del corso di studi gli allievi dovranno aver acquisito una cultura scientifica di base che permetta loro una visione critica ed organica della realtà sperimentale.

Per quanto riguarda i corsi curricolari l'area matematico - scientifica è rappresentata in prima dalla sola matematica, ma a questa si affiancano in seconda le scienze naturali e in terza la fisica, così che le materie scientifiche rappresentano nel triennio più di un quarto dell'impegno orario settimanale.

Per quanto riguarda il programma di fisica del III anno, tra i temi trattati ritroviamo: Forza e sua misura statica. Equilibrio di due o più forze applicate ad un solido. Centro di forze applicate ad un solido. Centro di forze parallele. Equilibrio nei solidi con un punto od un asse fisso. Macchine semplici: bilancia. Pressioni nei fluidi. Principi di Pascal e di Archimede. Vasi comunicanti. Pressione atmosferica. Legge di Boyle. Cenni sul moto di un solido immerso in un fluido: navi, dirigibili e velivoli.

**Classe destinataria:** tenendo conto dei piani di studio della scuola secondaria superiore, il percorso didattico è rivolto al terzo anno di un liceo scientifico - Indirizzo tradizionale, in cui l'insegnamento della disciplina "Fisica" è previsto con un monte di ore pari a 2 settimanali.

**Prerequisiti e loro controllo:**

Per mezzo di lezioni dialogiche verranno richiamati i concetti e i metodi risolutivi matematici acquisiti nel biennio precedente necessari per la comprensione e lo svolgimento dei nuovi argomenti affrontati:

- ✓ elementi di algebra
- ✓ le principali proporzionalità tra grandezze: proporzionalità diretta, quadratica, inversa
- ✓ elementi di base di geometria
- ✓ equazioni di primo e secondo grado
- ✓ nozioni di base di trigonometria (coseno, seno, tangente)
- ✓ grandezze fisiche e loro misure
- ✓ cinematica
- ✓ leggi di Newton

La verifica formativa degli argomenti svolti precedentemente nello stesso anno sarà presa in considerazione per valutare i prerequisiti nel momento in cui questi serviranno per introdurre e spiegare i nuovi argomenti. In particolare si dovranno riprendere:

- ✓ interpretazione del risultato di una misura
- ✓ corretto uso delle unità di misura del SI

**Obiettivi generali:**

- acquisire una buona formalizzazione dei contenuti teorici e l'acquisizione di una metodologia generale di lavoro efficacemente applicabile anche in molti altri campi del sapere
- comprendere i procedimenti caratteristici dell'indagine scientifica, che si articolano in un continuo rapporto tra costruzione teorica e attività sperimentale
- acquisire un insieme organico di metodi e contenuti finalizzati ad una adeguata interpretazione della natura
- acquisire la capacità di reperire informazioni, di utilizzarle in modo autonomo e finalizzato e di comunicarle con un linguaggio scientifico
- acquisire la capacità di analizzare e schematizzare situazioni reali e di affrontare problemi concreti, anche al di fuori dello stretto ambito disciplinare
- acquisire l'abitudine all'approfondimento, alla riflessione individuale e all'organizzazione del lavoro personale capacità a cogliere ed apprezzare l'utilità del confronto di idee e dell'organizzazione del lavoro di gruppo
- acquisire la capacità di cogliere l'importanza del linguaggio matematico come potente strumento nella descrizione del mondo e di utilizzarlo adeguatamente

**Obiettivi trasversali:**

- sviluppare l'attitudine alla comunicazione e ai rapporti interpersonali favorendo lo scambio di opinioni tra docente e allievo e tra gli allievi
- ampliare ulteriormente il processo di preparazione scientifica e culturale degli studenti

**Obiettivi di apprendimento:**

- affrontare con flessibilità situazioni impreviste di natura scientifica e/o tecnica
- applicare in contesti diversi le conoscenze acquisite
- collegare le conoscenze acquisite con le implicazioni della realtà quotidiana
- utilizzare criticamente le informazioni facendo anche uso di documenti originali quali memorie storiche, articoli scientifici, articoli divulgativi, ecc.

- conoscere, scegliere e gestire strumenti matematici adeguati e interpretarne il significato fisico
- distinguere la realtà fisica dai modelli costruiti per la sua interpretazione
- definire concetti in modo operativo
- stimare ordini di grandezza prima di usare strumenti o effettuare calcoli
- fare approssimazioni compatibili con l'accuratezza richiesta e valutare i limiti di tali semplificazioni
- valutare l'attendibilità dei risultati sperimentali ottenuti
- mettere in atto le abilità operative connesse con l'uso degli strumenti
- esaminare dati e ricavare informazioni significative da tabelle, grafici e altra documentazione utilizzando il linguaggio specifico della disciplina
- provvedere ad una accurata rilevazione e analisi dei dati ed alla loro discussione in raffronto ai modelli teorico-matematici proposti

#### **Conoscenze:**

- La condizione per l'equilibrio di un punto materiale.
- Forze agenti su un corpo rigido.
- Momento di una forza e di una coppia di forze.
- Le condizioni per l'equilibrio di un corpo rigido.
- Baricentro.
- Macchine semplici.
- La pressione dei liquidi.
- La legge di Stevin.
- Principio di Pascal.
- Principio di Archimede.
- Moto stazionario dei fluidi.
- Legge di Bernoulli e sue applicazioni.
- Attrito interno nei liquidi in moto.

#### **Competenze:**

- Trovare la risultante di due o più forze.
- Stabilire se un punto materiale o un corpo rigido è in equilibrio.
- Stabilire se un corpo rigido ruota o non ruota.
- Trovare il baricentro di un corpo.
- Calcolare il vantaggio di una macchina semplice.
- Calcolare la pressione esercitata da un liquido.
- Applicare la legge di Stevin.
- Calcolare la spinta di Archimede.
- Prevedere il comportamento di un solido immerso in un liquido.
- Sapere cosa si intende per processo stazionario.
- Comprendere l'effetto Bernoulli.

#### **Capacità:**

- Saper utilizzare le conoscenze e le competenze acquisite per risolvere problemi anche in contesti diversi.

#### **Metodologie:**

I nuovi argomenti verranno affrontati utilizzando contemporaneamente lezioni frontali e dialogiche in modo da favorire una partecipazione attiva e una attenzione continuativa degli alunni che potranno dare il loro contributo mediante osservazioni e domande e magari anticipazioni. Ci si deve avvalere delle nozioni di fisica acquisite nelle unità già svolte e fare affidamento soprattutto sull'informazione maturata nell'esperienza quotidiana.

Nel laboratorio di fisica si realizzeranno delle esperienze finalizzate a dare l'idea di cosa significhi procedere sperimentalmente, rilevando ed elaborando i dati. Ma si userà anche per verificare relazioni e leggi già esplicitate.

Verranno svolti opportuni esempi in classe, alcuni dei quali serviranno per introdurre e far comprendere nuovi concetti, altri per applicare e consolidare le conoscenze già apprese.

Si svolgeranno esercizi in classe di diverso tipo e di difficoltà crescente in modo che siano momento immediato di sostegno e anche di ripasso della teoria.

Verranno assegnati degli esercizi a casa scelti con difficoltà crescente, in modo che gli studenti possano acquisire una maggiore familiarità con l'argomento.

Sarà effettuata la correzione in classe di quegli esercizi che hanno comportato più incertezze e difficoltà.

Inoltre i ragazzi dovranno elaborare delle relazioni relative alle esperienze di laboratorio riportando con cura il materiale usato, i dati raccolti, la loro elaborazione e la formalizzazione teorica. A tali relazioni si attribuirà un voto che contribuirà a fornire la valutazione finale dello studente.

#### **Materiali e strumenti:**

- libro di testo
- lavagna e gessi
- slide di power point
- calcolatrice scientifica
- computer
- laboratorio di fisica

#### **Sviluppo dei contenuti:**

Il percorso didattico realizzato per affrontare l'argomento è costituito da due unità didattiche:

1. la statica
2. i fluidi

#### **Verifiche e valutazione:**

La verifica dell'apprendimento sarà effettuata per mezzo di:

- ✓ verifiche formative, alle quali non si attribuirà un voto, sotto forma di domande ed esercizi svolti in classe, correzione di esercizi dati a casa, test scritti da svolgere in classe.
- ✓ verifiche sommative che serviranno per accertare il conseguimento degli obiettivi prefissati e che prevedono l'assegnazione di un voto, attraverso interrogazioni orali e prove scritte. E' prevista una verifica sommativa per unità.

#### **Tempi dell'intervento didattico:**

Si stimano una trentina di ore, più o meno equamente distribuite fra le due unità.

# UNITA' DI DIDATTICA 1: LA STATICA

## Sviluppo dei contenuti

### 1. Descrivere l'equilibrio

Nota didattica: Si propone agli studenti una fotografia-stimolo con una didascalia in forma di domanda a cui potranno rispondere dopo aver studiato questa Unità.



➤ È esperienza comune che, per mantenere sollevato un oggetto a una certa distanza dal suolo, dobbiamo applicare forze che ne equilibrino altre. Sappiamo anche che gli effetti ottenuti dall'applicazione di una forza non sono indipendenti dalla direzione lungo cui la facciamo agire. Per esempio, il ginnasta Juri Chechi, campione olimpico agli anelli nel 1996, per stare in equilibrio con le braccia parallele al suolo, farebbe più o meno fatica se le funi cui sono agganciati gli anelli fossero più lunghe?

Nota didattica: L'intenzione è di partire da concetti e termini usati nel quotidiano e di cui hanno una conoscenza intuitiva per poi astrarre e formalizzare nel linguaggio della fisica. L'osservazione quotidiana mostra che, quando un corpo è fermo, per metterlo in movimento è necessario l'intervento di una causa esterna: per esempio, se vogliamo far muovere un pallone dobbiamo tirargli un calcio. Le cause che fanno sì che un oggetto fermo si metta in moto si chiamano forze, grandezze fisiche che è necessario conoscere anche per determinare le condizioni di equilibrio di un corpo. Per descrivere le forze, e anche molte altre grandezze fisiche è necessario usare i vettori. È quindi molto importante imparare a conoscerli e a operare con essi, cioè conoscere le regole del calcolo vettoriale, che sono diverse da quelle del calcolo dei numeri. In particolare in questa Unità utilizzeremo i vettori e il calcolo vettoriale per studiare le condizioni di equilibrio di un corpo.

### 1.1 Il concetto di forza

Per descrivere l'equilibrio dei corpi è necessario riprendere il concetto di **forza**, uno dei più importanti nello sviluppo della descrizione del mondo fisico.

Il termine forza è impiegato abitualmente nel linguaggio comune; si parla per esempio di forza muscolare per indicare la forza che i nostri muscoli possono esercitare su un oggetto quando vogliamo spostarlo. Se vogliamo spostare un tavolo, gli applichiamo una forza con le nostre mani.

Anche quello che abitualmente chiamiamo il nostro peso è una forza: è la forza con cui la massa terrestre ci attira verso il centro della Terra.

Nota didattica: Tutti noi abbiamo un'idea intuitiva del concetto di forza. In genere quando pensiamo a una forza immaginiamo "una spinta" o una "tirata" e, poiché siamo cresciuti considerando le forze in questo modo intuitivo, non ci accorgiamo che in realtà noi non vediamo le forze, ma vediamo solo oggetti che si comportano in un certo modo e da ciò deduciamo che una qualche forza stia agendo su di essi: per esempio, se vediamo che un bicchiere che era fermo su un tavolo cade per terra, pensiamo che probabilmente lo abbiamo spinto senza accorgercene urtandolo con un gomito. Anche se il concetto di forza coinvolge molto più che le nostre idee intuitive di spinta o di tirata, possiamo partire da queste idee intuitive per giungere a una definizione più precisa delle forze come grandezze fisiche.

## LABORATORIO

### Costruire un misuratore di forza

Puoi provare a costruire un rudimentale misuratore di forza prendendo un elastico piuttosto robusto con un gancetto legato a un'estremità, un righello e un cartoncino spesso, rettangolare della lunghezza dell'elastico.

Fai un forellino sulla base superiore del cartoncino e fissa l'estremità dell'elastico. Con una matita segna sul cartoncino la posizione del gancetto. Ora puoi appendere al gancetto un oggetto (per esempio un dado di ferro) e con la matita segnare la posizione raggiunta dal gancetto. Adesso aggiungi un secondo oggetto uguale al primo e segna la posizione raggiunta dal gancetto. Ripeti l'operazione aggiungendo ogni volta un dado di ferro e segna sempre la posizione raggiunta dal gancetto.

Se ora con il righello misuri la distanza tra ogni tacca che hai segnato sul cartoncino, ti accorgerai che approssimativamente tutte queste distanze sono uguali.

Se assumi che il peso di un dado di ferro costituisca la tua unità di forza, allora hai costruito un misuratore di forza, nel senso che hai ricondotto la misura di una forza alla misura di una lunghezza.

Partendo dunque dagli effetti da esse provocati (allungamento/accorciamento della molla) possiamo così arrivare ad attribuire alle forze un valore quantitativo, che viene chiamato **intensità**, o anche **modulo**, della forza.



L'efficacia della risposta di questo giocatore di pallavolo dipende oltre che dall'intensità anche dalla direzione e dal verso della forza con cui colpisce la palla.

Dunque, l'indicazione della sola intensità non è sufficiente per descrivere l'azione di una forza. Un'altra importante caratteristica delle forze è infatti che esse sono direzionali, cioè producono effetti diversi a seconda della direzione e del verso in cui agiscono: per **direzione** di una forza si intende la direzione della sua **retta d'azione**, cioè la direzione della retta lungo la quale la forza agisce, mentre il **verso** della forza specifica lungo quale dei due possibili versi della retta d'azione la forza agisce.

Si consideri una palla di gomma ferma su un piano orizzontale:

1. se applichiamo ad essa una forza diretta verso dall'alto verso il basso notiamo che la palla subisce deformazioni più o meno evidenti pur rimanendo ferma nella posizione originaria;
2. se invece applichiamo alla palla una forza parallela al piano, notiamo che in questo caso si ha una deformazione trascurabile, mentre la palla inizia a muoversi.

**Quesito: Quali considerazioni trarre da questa semplice esperienza?**

1. Se il corpo al quale è applicata la forza non è libero di muoversi, ma, come si suol dire, è **vincolato**, la forza produce in generale una deformazione sia del corpo che del **vincolo** (nel nostro caso il piano d'appoggio che impedisce i movimenti che tenderebbero a far penetrare il corpo nel tavolo); la **reazione vincolare** è la forza che il vincolo esercita su tale corpo;

- II. Ulteriore conferma della possibilità di ottenere mediante forze effetti distinti che vanno dalla deformazione di un corpo vincolato o dall'arresto di un corpo in movimento (**effetto statico**) al moto dei corpi (**effetto dinamico**);
- III. La forza è un **vettore** in quanto, indipendentemente dal modulo, risultano decisivi direzione, verso e punto d'applicazione.

Nota didattica: in questa unità ci occuperemo degli effetti statici delle forze.

Per tradurre quantitativamente le considerazioni che faremo occorre introdurre ora un'appropriata unità di misura per le forze. Nel Sistema Internazionale questa unità viene definita valutando l'effetto dinamico della forza su un corpo campione di massa 1Kg e viene chiamata Newton (N). Più precisamente per Newton intendiamo quella forza che agendo su un corpo di massa 1Kg le imprime un'accelerazione di  $1\text{m/s}^2$ , cioè

$$1\text{N} = 1\text{Kg} * 1\text{m/s}^2.$$

## **1.2 L'equilibrio meccanico**

Dunque proprio per la loro natura vettoriale, se più forze agiscono su un corpo il loro effetto complessivo è descritto dalla somma dei vettori che le rappresentano.

È possibile che se su un corpo in quiete agiscono più forze, il corpo rimanga in quiete. In questo caso si dice che il corpo è in **equilibrio meccanico**, e più precisamente in **equilibrio statico**.

Nota didattica: Capire quali sono le condizioni che devono verificarsi perché un corpo sia in equilibrio è molto importante. Per questo potremmo far riflettere i ragazzi, per esempio, sulla necessità di costruire i più svariati oggetti (case, mobili, ponti, gallerie...) in maniera tale che, quando su di essi agiscono forze, possano rimanere in equilibrio.

La parte della fisica che studia le condizioni necessarie perché si abbia equilibrio meccanico è chiamata **statica**.

**Un corpo è in equilibrio se è fermo e persevera nel suo stato di quiete al trascorrere del tempo.**

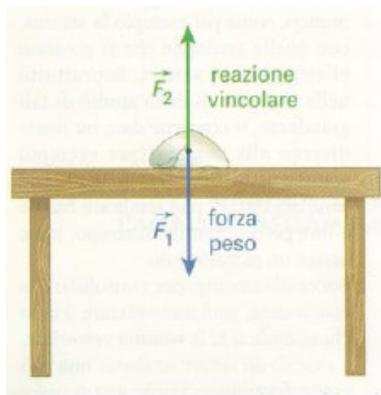
### **1.2.1 L'equilibrio del punto materiale**

Nota didattica: Per descrivere le condizioni di equilibrio dei corpi conviene partire dal modello di corpo più semplice: il punto materiale, ciò consente un approccio piuttosto semplificato del problema.

Un modello è la semplificazione di una situazione reale, utile per concentrare lo studio su alcuni aspetti di un fenomeno, ignorandone altri.

**Il punto materiale** è il modello di un corpo reale, ed è un punto in cui si immagina concentrata tutta la materia presente nel corpo. Esso è utile quando il corpo reale si può considerare di dimensioni trascurabili rispetto al contesto in cui si trova, e tutte le forze possono essere considerate applicate nello stesso punto.

Il punto materiale non ha dimensioni ma, ha una massa e quindi una forza peso.



La condizione di equilibrio di un punto materiale (detta anche **I equazione cardinale della statica**) è la seguente:

**Un punto materiale è in equilibrio se è nulla la somma vettoriale di tutte le forze applicate ad esso.**

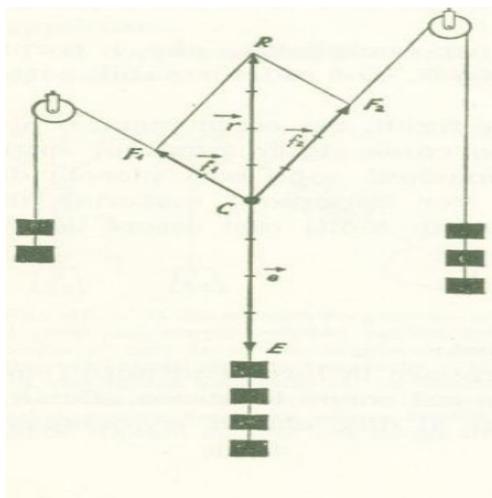
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \vec{0}$$

Dunque dato un punto materiale, e le forze  $F_1, F_2, F_3, \dots$  su di esso agenti, per equilibrare tale punto occorre procedere come segue:

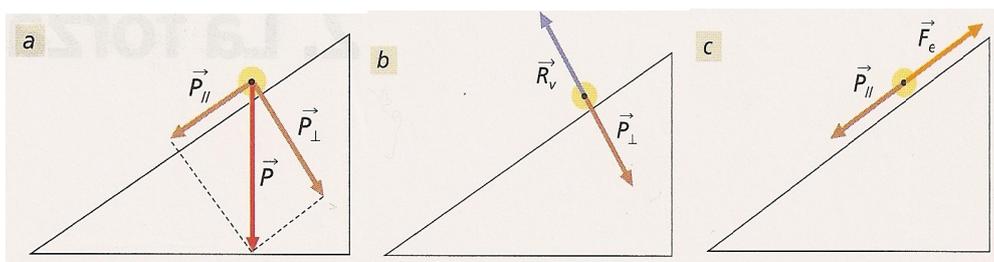
A. Si sommano tutte le forze agenti sul punto, ottenendo così il vettore risultante

$$R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

B. Si applica una forza opposta al risultante chiamata equilibrante E, tale che  $R + E = 0$



Pensiamo ora ad un corpo in equilibrio su un piano inclinato, come un'automobile parcheggiata su una strada in pendenza.



Nella figura, il punto si trova su un piano inclinato. Esso non è in equilibrio, anche se è vincolato a stare sul piano. Infatti, l'azione della forza-peso si esercita in due modi: tiene premuto il punto contro il piano e contemporaneamente lo spinge lungo il piano.

Per capire meglio questo fatto, scomponiamo il peso  $\vec{P}$  in due componenti: una componente parallela al piano inclinato ( $\vec{P}_{//}$ ), l'altra perpendicolare al piano ( $\vec{P}_{\perp}$ ), come nella figura a.

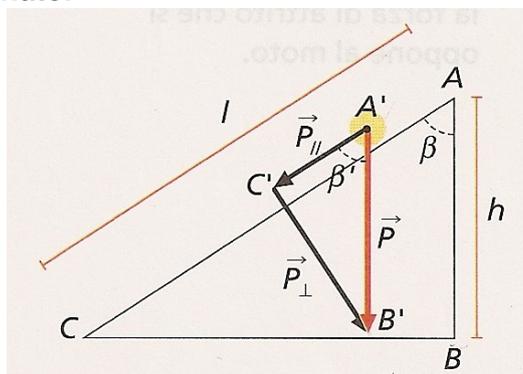
La componente  $\vec{P}_{\perp}$  non ha effetto sul movimento del punto perché preme contro il piano ed è equilibrata dalla reazione  $\vec{R}_v$  del piano (figura b):

$$\vec{P}_{\perp} = -\vec{R}_v$$

L'unica forza che fa muovere il punto è la componente parallela del peso.

Pertanto, per tenere in equilibrio il punto basta applicare una forza  $\vec{F}_e$  (forza equilibrante) uguale ed opposta a  $\vec{P}_{//}$  (figura c).

**Quesito:** In riferimento alla figura, calcolare  $P_{//}$ , in funzione dell'altezza  $h$  e della lunghezza  $l$  del piano inclinato.



Dalla similitudine dei triangoli ABC e A'B'C', segue la proporzione  $A'B' : AC = A'C' : AB$  e quindi

$$A'C' = \frac{A'B' \cdot AB}{AC}$$

ed infine sostituendo  $\vec{P}_{//} = \vec{P} \frac{h}{l}$ . Poiché  $\frac{h}{l}$  è per definizione il seno dell'angolo con vertice in C (che chiamiamo  $\theta$ ) l'ultima relazione può essere scritta

$$\vec{P}_{//} = \vec{P} \sin \theta.$$

Dunque poiché dipende dal  $\sin \theta$  avrà valore nullo se  $\theta=0$  e valore massimo per  $\theta=\frac{\pi}{2}$ . Il piano

inclinato è dunque un caso intermedio tra le seguenti situazioni limite: corpo appoggiato su un piano orizzontale, corpo in caduta libera.

### 1.2.2 L'equilibrio del corpo rigido

Nota didattica: Se non è possibile considerare puntiforme il corpo in esame, lo studio dell'equilibrio è più complesso. Esamineremo ora le condizioni di equilibrio per modelli di corpi ancora abbastanza semplici, ma che cominciano a possedere un chiaro riferimento alla struttura materiale di corpi che si trovano allo stato solido.

Spesso l'azione di una forza provoca altri effetti la cui entità è di gran lunga superiore alla deformazione, per cui questa diviene trascurabile.

Se spingiamo un tavolo ci appare chiaro come lo spostamento sia di gran lunga più evidente che non la deformazione del tavolo stesso sotto l'azione della forza. Queste considerazioni conducono al concetto molto usato in fisica di **corpo rigido esteso**, intendendo con questo

appellativo un corpo le cui dimensioni spaziali non mutano, o mutano in maniera trascurabile, quando su di esso agisce una forza.

OSSERVAZIONE: Il concetto di corpo rigido rappresenta solo un'utile astrazione in quanto nella realtà chiaramente non esistono corpi perfettamente rigidi nel senso appena chiarito.

Il corpo rigido esteso è il modello di un corpo reale dotato di estensione e che non è possibile ridurre ad un punto materiale. Sottoposto all'azione delle forze, il corpo rigido esteso non subisce deformazioni apprezzabili.

**Un corpo è rigido quando, considerati due suoi punti qualunque, essi non cambiano mai la loro distanza.**

Per studiare le condizioni di equilibrio di un corpo rigido, occorre richiamare alcune proprietà:

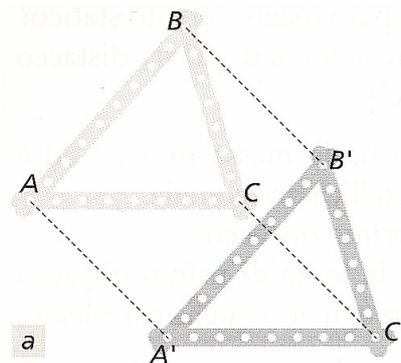
- sul moto di un corpo rigido
- sulla composizione delle forze agenti su di esso (le forze possono essere applicate in punti diversi essendo un corpo esteso).

Il corpo rigido può effettuare due tipi di moto:

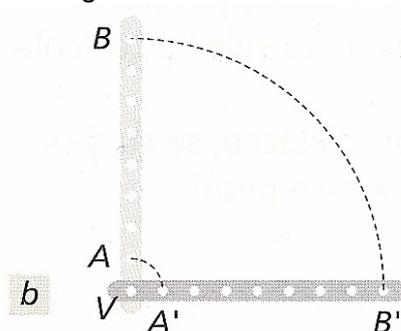
**traslatorio e rotatorio intorno ad un asse fisso.**

Dunque in generale il moto di un corpo rigido può essere ridotto alla composizione di due tipi di movimento:

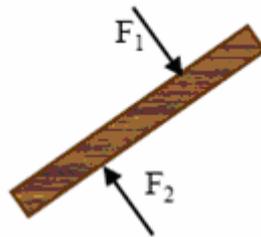
a) traslazione: un corpo rigido esegue una traslazione quando i suoi punti eseguono un identico spostamento



b) rotazione rispetto ad un asse: un corpo rigido esegue una rotazione intorno ad un asse quando i suoi punti (ad eccezione di quelli che stanno sull'asse) eseguono una rotazione attorno all'asse caratterizzata dallo stesso angolo



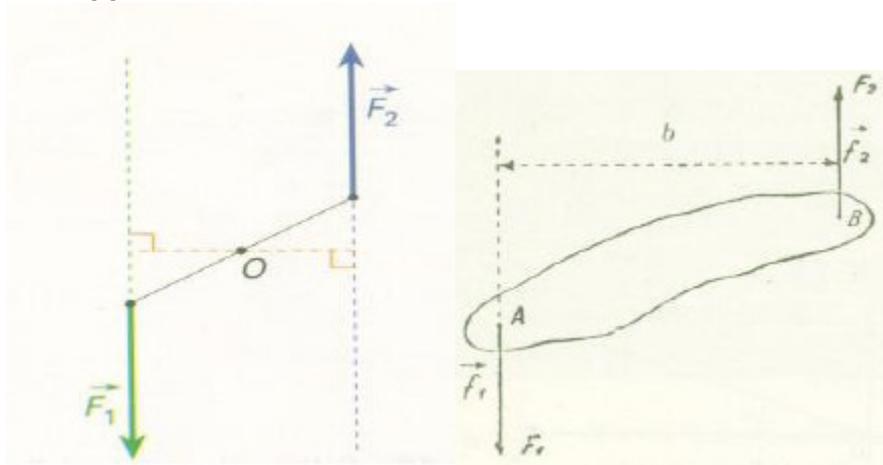
In questo caso è chiaro che non basta una sola condizione di equilibrio, infatti per l'equilibrio di un corpo rigido, la condizione che la forza risultante sia nulla è ancora necessaria, ma non è sufficiente, perché il corpo può ruotare (figura (a)).



(a) Le due forze  $F_1$  e  $F_2$  sono uguali ed opposte, ma la bacchetta non è in equilibrio statico, perché queste forze tendono a farla ruotare in senso orario.

Nota didattica: È qui utile aprire una piccola parentesi.

Un sistema siffatto, cioè composto da due forze parallele aventi modulo uguale e versi opposti, si chiama **coppia di forze**.



L'intensità di ogni forza è l'**intensità della coppia**:  $F_1 = F_2 = F$ ; la **distanza fra le rette d'azione delle forze** (ATTENZIONE NON FRA I PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE FORZE) si chiama **braccio della coppia**:  $b$ .

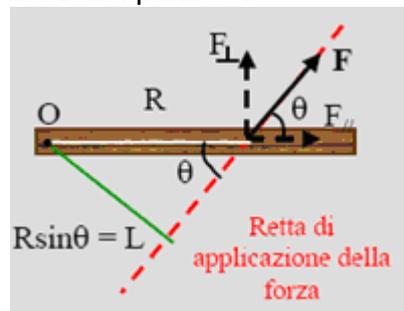
Una coppia di forze produce su un corpo rigido una **rotazione** (intorno ad un asse fisso).

La grandezza fisica che descrive la rotazione si chiama **momento vettoriale**.

Essendo un vettore occorre specificare direzione, verso, intensità e punto di applicazione.

Definiamo anzitutto il **momento di una forza**.

Si immagini che l'asta in figura possa ruotare attorno ad un certo asse fisso che interseca il piano in cui giace la forza applicata  $F$  nel punto  $O$ .



Scomponiamo la  $F$  nella componente  $F_{\perp}$  all'asta ed  $F_{\parallel}$  all'asta, quest'ultima non è attiva per una eventuale rotazione dell'asta intorno ad  $O$ ; la componente attiva è la  $F_{\perp}$ .

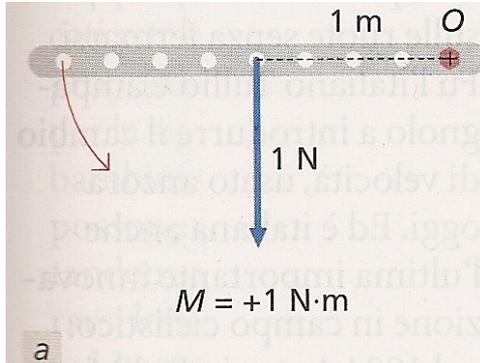
L'efficacia della rotazione dipende da  $F_{\perp}$  e dalla distanza  $R$  di questa componente da  $O$ .

La distanza  $L$  del punto  $O$  dalla retta di applicazione della forza si chiama **braccio della forza**.

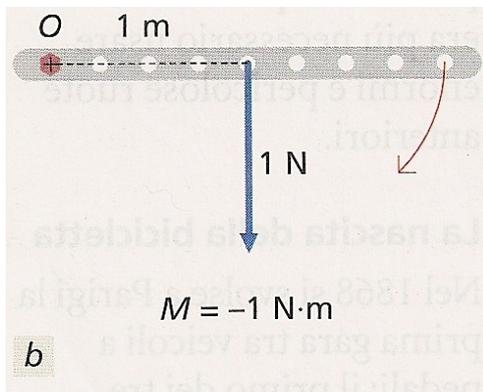
Definiamo **momento della forza**:

$$M = F_{\perp} \cdot R = (F \sin \theta)R = F(R \sin \theta) = F \cdot L = (\text{forza}) \times (\text{braccio})$$

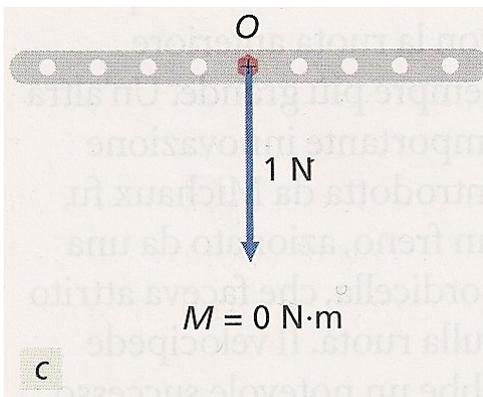
Il momento di una forza può essere orario o antiorario, a seconda del senso di rotazione che tende a produrre. Per tener conto di questa differenza assumiamo come positivo il valore di  $M$  che produce una rotazione antioraria e negativo il valore di  $M$  che produce una rotazione oraria.



La forza produce rotazione in verso antiorario; il momento è positivo:  $M = +1N \cdot m$



La forza produce rotazione in verso orario; il momento è negativo:  $M = -1N \cdot m$



La forza non produce rotazione; il momento è nullo:  $M = 0$ .

Applichiamo il tutto al caso di una coppia di forze.

Il **modulo** del momento di una coppia di forze è definito come il prodotto del modulo della coppia per il suo braccio, cioè la distanza tra le rette d'azione delle due forze:

$$\text{momento} = \text{forza} \times \text{braccio}.$$

Usando i simboli, il modulo del momento diventa:

$$\mathbf{M} = \mathbf{F} \times \mathbf{b}$$

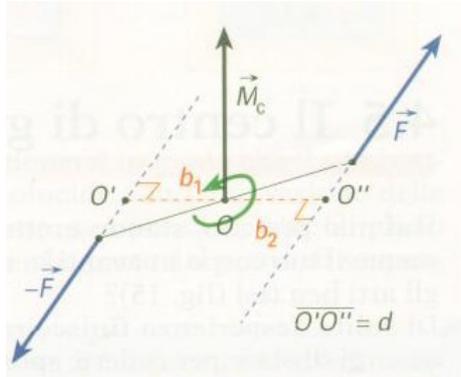
L'unità di misura del momento di una coppia di forze è:  $N \cdot m$ .

Essendo il momento una grandezza vettoriale, oltre al modulo, possiede una direzione e un verso.

La **direzione** del vettore momento è quella della retta perpendicolare al piano individuato dalla

coppia di forze; il **verso** è quello di avanzamento di una vite (destro) che ruota come ruota il corpo.

Il vettore momento si può pensare applicato in qualunque punto del corpo, poiché è un **vettore libero**.



Viceversa si ha che:

- la direzione di  $M$  indica l'asse attorno al quale ruota il corpo rigido;
- il verso di  $M$  dà informazioni sul senso in cui avviene la rotazione.

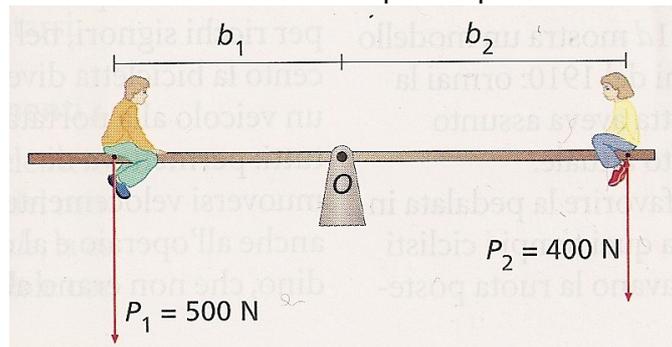
Il senso di rotazione del corpo rigido viene determinato, conoscendo il verso del momento, utilizzando la regola del cavatappi.

Se  $M$  è diretto verso l'alto, la rotazione avviene in senso antiorario (un cavatappi ruotato in senso antiorario si svita e va verso l'alto); viceversa, se  $M$  è diretto verso il basso, allora la rotazione avviene in senso orario (un cavatappi ruotato in senso orario si avita e va verso il basso).

La rotazione in senso orario è quella individuata dal movimento delle lancette dell'orologio; in caso contrario, si parla di senso antiorario.

Il momento di una coppia di forze individua la presenza di un moto di rotazione del corpo rigido.

Appare dunque evidente il significato della frase: l'annullarsi della risultante di un sistema di forze rappresenta una condizione solo necessaria per l'equilibrio statico.



L'asta della figura può ruotare intorno al punto  $O$ , dove c'è un vincolo. Indichiamo con  $P_1$  e  $P_2$  i pesi dei due bambini seduti sull'altalena. Il peso del bambino tende a far ruotare l'asta in verso antiorario (momento positivo), quello della bambina in verso orario (momento negativo).

Si ha equilibrio quando:

$$P_1 b_1 = P_2 b_2$$

Se i due prodotti non sono uguali, l'asta ruota, perché non è in equilibrio.

**Un corpo rigido in equilibrio non deve né traslare, né ruotare e le sue condizioni di equilibrio sono le seguenti:**

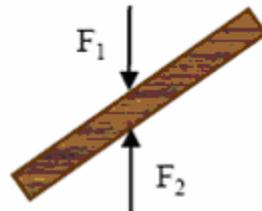
1) affinché il corpo **non trasli** deve essere **nulla la somma vettoriale di tutte le forze applicate al corpo rigido**, comprese le reazioni vincolari (**I equazione cardinale della statica**)

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots = \mathbf{0};$$

2) affinché il corpo **non ruoti** (intorno ad un asse fisso) deve essere **nulla la somma vettoriale di tutti i momenti** (**II equazione cardinale della statica**)

$$\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 + \mathbf{M}_3 + \dots = \mathbf{0}.$$

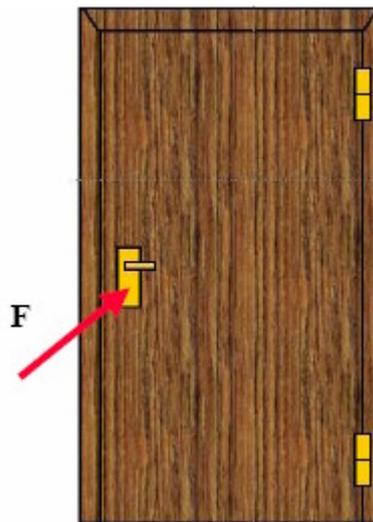
Un esempio particolare:



(b) In questo caso, le due forze hanno la stessa retta d'azione e quindi non provocano la rotazione della bacchetta.

Quindi va sottolineato che per le forze applicate ai corpi rigidi, oltre al modulo e alla direzione orientata di una forza è importante anche il punto di applicazione.

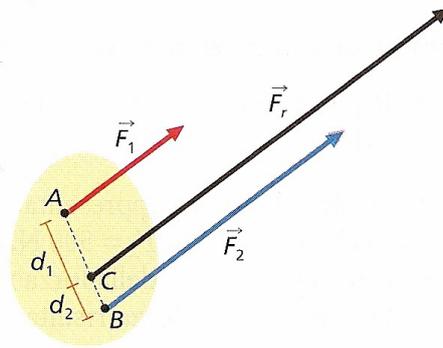
Altro esempio:



Per aprire una pesante porta si spinge in un punto il più lontano possibile dai cardini. Nessuna forza, per quanto intensa, riuscirà ad aprirla se esercitata in un punto appartenente alla retta passante per i cardini.

Sfruttiamo i risultati ottenuti precedentemente per risolvere un problema alquanto interessante, cioè la determinazione della risultante di due forze parallele. Analizziamo dapprima il caso in cui le forze abbiano lo stesso verso o come si suol dire siano **concordi**.

### Composizione di due forze parallele concordi



Le forze della figura sono parallele concordi. Abbiamo disegnato la forza risultante  $\vec{F}_r$  che ha le seguenti proprietà:

- il suo modulo è uguale alla somma dei moduli di  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$

$$F_r = F_1 + F_2$$

- la direzione e il verso di  $\vec{F}_r$  coincidono con quelli delle due forze; (questi due risultati si deducono dalla regola della somma di due vettori che hanno la stessa direzione e lo stesso verso)

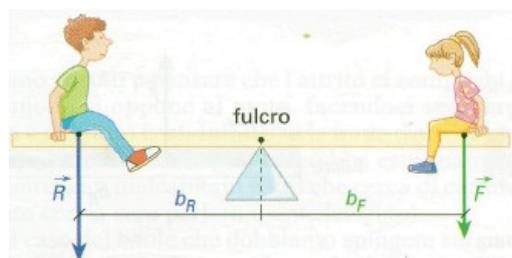
- per la determinazione di C procediamo nel seguente modo:

Supponiamo per un attimo che il tratto AB sia costituito da un'asta rigida e sottile ai cui estremi sono applicate le forze  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$ . Sotto l'azione delle forze l'asta tenderà a muoversi. Per imporre l'equilibrio statico dobbiamo impedire sia la traslazione sia la rotazione. Per quanto riguarda la traslazione è sufficiente vincolare l'asta in un punto qualsiasi del tratto AB. In questo punto il vincolo si opporrà all'azione delle forze impedendo la traslazione del sistema. Se poi vogliamo impedire anche la rotazione occorre invece che il punto, in cui porremo il vincolo, sia preso in maniera tale che il momento prodotto da  $\vec{F}_2$  rispetto a quel punto sia uguale al momento di  $\vec{F}_1$  rispetto a quel punto. Risulta che il punto di applicazione C è interno al segmento AB e vale la seguente proporzione:

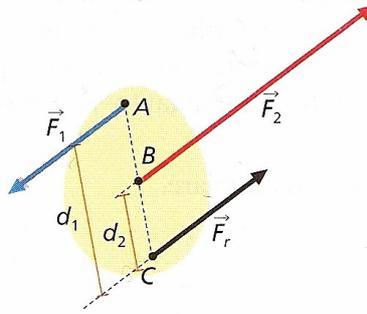
$$F_1 : F_2 = d_2 : d_1$$

o anche  $\vec{F}_1 \cdot d_1 = \vec{F}_2 \cdot d_2$

dove  $d_1$  e  $d_2$  rappresentano le distanze delle due forze dal punto C. Questo risultato si può enunciare affermando che **il punto d'applicazione della risultante di due forze parallele e concordi divide il segmento che congiunge gli estremi delle forze in parti inversamente proporzionali ai moduli delle forze stesse**. È immediato riconoscere in questa espressione la condizione di equilibrio di una leva. In effetti una leva di primo genere può essere schematizzata mediante due forze parallele e concordi applicate alle estremità di un segmento; il punto C di cui abbiamo determinato la posizione viene chiamato di solito **fulcro** della leva.



### Composizione di due forze parallele discordi



Le due forze della figura sono parallele discordi. Le proprietà della risultante di due forze parallele discordi sono le seguenti:

- il modulo del vettore  $\vec{F}_r$  è uguale alla differenza fra il modulo della forza più grande e quello della forza più piccola; per esempio, se  $F_2 > F_1$

$$F_r = F_2 - F_1$$

- la risultante ha la stessa direzione delle due forze e il verso della forza maggiore; (si deduce dalla regola della somma di due forze parallele e discordi)
- la risultante è applicata in un punto C, esterno al segmento AB, più vicino alla forza di modulo maggiore (figura);
- si può dimostrare che la posizione di C è tale che vale la stessa proporzione del caso precedente:

$$F_1 : F_2 = d_2 : d_1$$

dove  $d_1$  e  $d_2$  sono le distanze delle due forze dal punto di applicazione della risultante, cioè da C.

Si noti che in questo caso il sistema studiato è equivalente ad una leva di secondo genere.

### Le macchine semplici e la leva

Si chiama **macchina** un dispositivo mediante il quale è possibile equilibrare una forza (**forza resistente**) con un'altra (**forza agente o potente**) non uguale e contraria.

Il rapporto tra la forza resistente e la forza agente si chiama **vantaggio** della macchina:

$$\text{vantaggio} = (\text{forza resistente}) / (\text{forza agente})$$

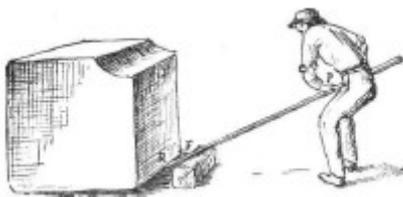
se tale rapporto è  $>1$  la macchina si dice **vantaggiosa**.

Si chiamano **semplici** le macchine le cui singole parti non costituiscono a propria volta altre macchine. Per contro, i dispositivi più complessi risultano da un'opportuna combinazione di macchine semplici.

Le macchine semplici fondamentali possono ridursi a due: la **leva** e il **piano inclinato**.

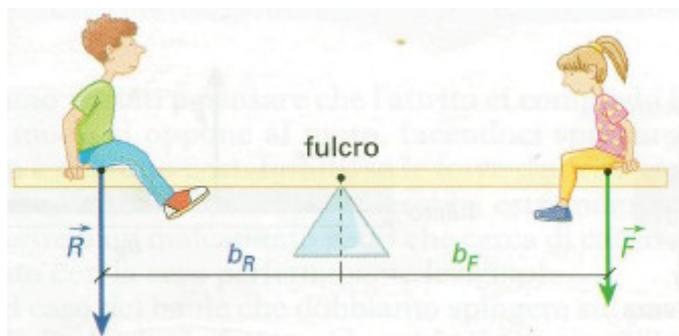
Altre macchine semplici sono la carrucola (o puleggia), la vite e il cuneo.

Va notato che le macchine sono, per lo più, usate in pratica non staticamente, ma per ottenere spostamenti. Tuttavia, quando si conosca la condizione di equilibrio, basterà aumentare anche di poco la forza agente per ottenere lo spostamento del corpo cui è applicata la forza resistente.

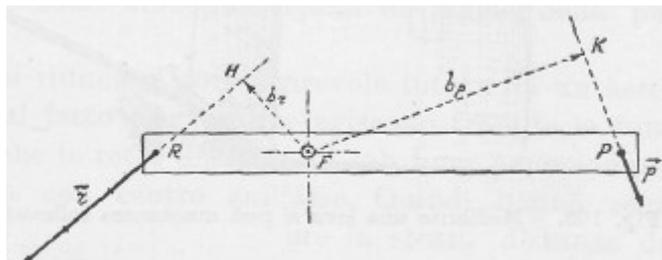


### La leva

Una leva è costituita da un'asta rigida girevole intorno a un asse (**fulcro**).



Essa è, in sostanza, un corpo rigido girevole intorno a un asse. Se alla leva applichiamo due forze che tendano a farla ruotare in versi opposti, ciascuna di queste forze avrà un vettore momento rispetto al fulcro.



Indicando con  $R$  l'intensità della forza resistente e con  $b_R$  il suo braccio rispetto al fulcro, il modulo del momento della forza resistente sarà dato da:

$$M_R = R \times b_R$$

E indicando con  $P$  l'intensità della forza agente e con  $b_P$  il suo braccio rispetto al fulcro, il modulo del momento della forza agente sarà dato da:

$$M_P = P \times b_P$$

La leva resterà in equilibrio se la somma vettoriale dei vettori momento delle due forze è nulla:

$$M_R + M_P = 0 \quad (\text{Il'equazione cardinale della statica})$$



Poiché i due vettori momento hanno la stessa direzione e verso opposto (fanno ruotare la leva uno in senso orario, e l'altro in senso antiorario), la loro somma vettoriale è pari a zero quando essi hanno moduli uguali:

### CONDIZIONE DI EQUILIBRIO DELLA LEVA

$$M_R = M_P$$

$$R \times b_R = P \times b_P$$

Ricordando che, se il prodotto di due numeri è uguale al prodotto di altri due, si ha una proporzione prendendo come estremi i due fattori di un prodotto, e come medi i fattori dell'altro, si ha dalla condizione di equilibrio della leva:

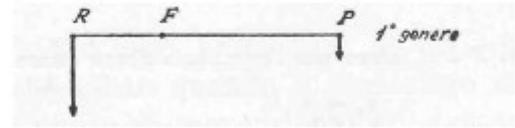
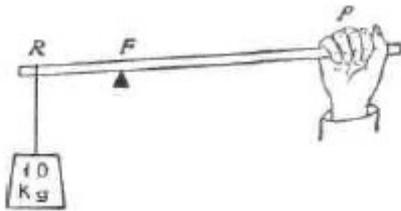
$$P : R = b_R : b_P$$

Cioè:

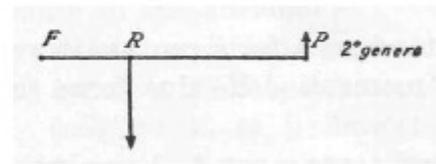
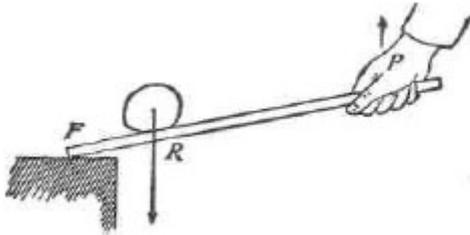
**La forza agente sta alla forza resistente, come il braccio della forza resistente sta a quello della forza agente.**

Una leva si può dire:

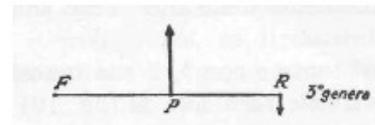
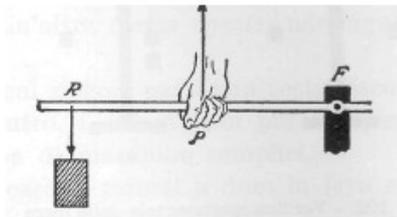
—interfissa, o di **primo genere**, se il fulcro è tra la forza agente e la forza resistente;



—interresistente, o di **secondo genere**, se la forza resistente è tra il fulcro e la forza agente;



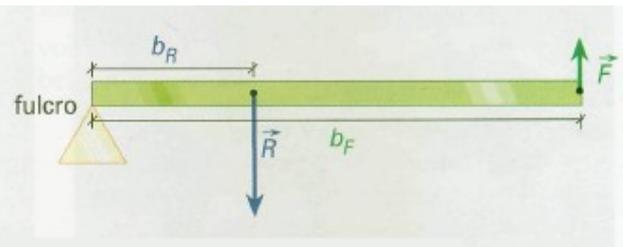
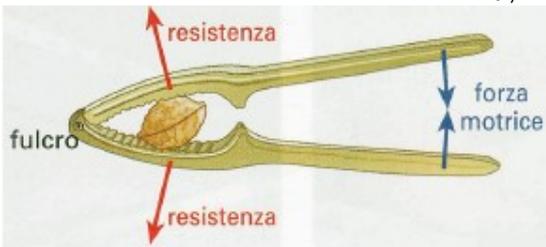
—interpotente, o di **terzo genere**, se la forza agente è tra il fulcro e la forza resistente.



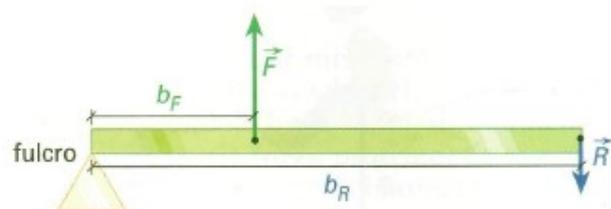
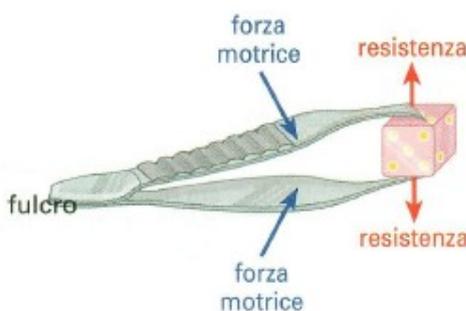
Le leve sono poi **indifferenti** quando i due bracci sono uguali, e quindi la Potenza e la Resistenza, sono uguali:

$$b_P = b_R \quad P = R;$$

**vantaggiose** quando il braccio della Potenza è maggiore di quello della resistenza, e quindi la Potenza è minore della resistenza:  $b_P > b_R \quad P < R$ ;

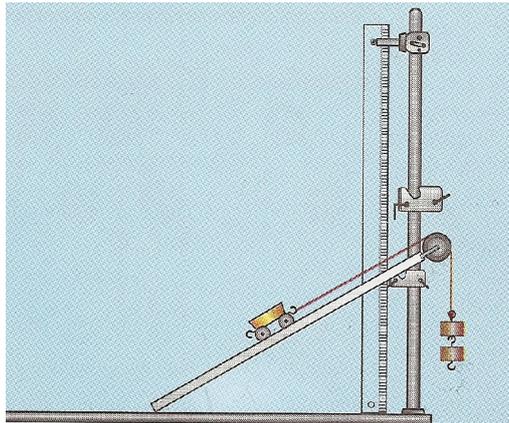


**svantaggiose** quando il braccio della Potenza è minore di quello della resistenza, e quindi la Potenza è maggiore della resistenza:  $b_P < b_R \quad P > R$ .



## Il piano inclinato

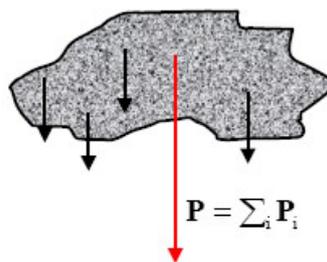
Il piano inclinato è una macchina semplice vantaggiosa. La descrizione è stata proposta come esperienza di laboratorio.



### 1.2.3 Il baricentro

Un'utile applicazione di quanto ottenuto riguarda la determinazione del **baricentro** di un corpo. Facciamo una breve premessa: ogni corpo che si trova in prossimità della superficie terrestre è soggetto ad una forza (la forza peso) che misura l'entità dell'interazione tra il corpo e la terra.

Tale forza agisce su tutte le porzioni del corpo, e quindi non costituisce un'unica forza, ma un insieme di forze parallele e concordi come è indicato in figura.



Per quanto detto sulla risultante di forze parallele e concordi, questo insieme di forze è equivalente ad un'unica forza, con un ben definito punto di applicazione che è chiamato **baricentro** o **centro di gravità**.

Un corpo rigido, comunque complesso, si comporta come se tutto il peso fosse concentrato nel suo baricentro; questo facilita lo studio dell'equilibrio.

#### Determinazione del baricentro

Esistono corpi solidi di forma regolare e corpi solidi di forma irregolare.

Corpi regolari:

hanno un centro di simmetria, intorno al quale è distribuita la massa del corpo.

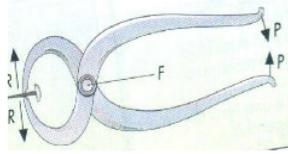
Corpi irregolari:

non hanno un centro di simmetria



I corpi possono distinguersi anche in omogenei e non omogenei.

Corpi omogenei:  
hanno una densità costante, cioè ogni piccola porzione del corpo ha la stessa densità  
Es.:



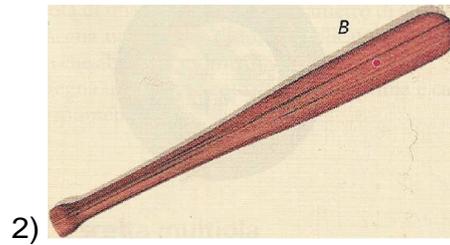
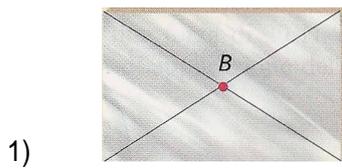
Corpi non omogenei:  
hanno densità diversa  
Es.:



Si può verificare per via sperimentale che il baricentro dei corpi di forma regolare e omogenei si trova nel centro di simmetria.

Per esempio, il baricentro di una lamina sottile omogenea (fig 1) si trova nell'intersezione delle due diagonali, il baricentro di un triangolo nel punto di incontro delle mediane, il baricentro di una sfera omogenea si trova nel suo centro.

Se invece il corpo è irregolare o non omogeneo (fig 2), non è facile individuare dove si trova il baricentro. Intuitivamente possiamo dire che il baricentro è spostato verso la parte più pesante del corpo. Il baricentro può essere trovato con metodi sperimentali.

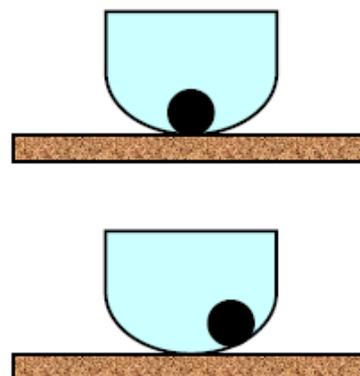
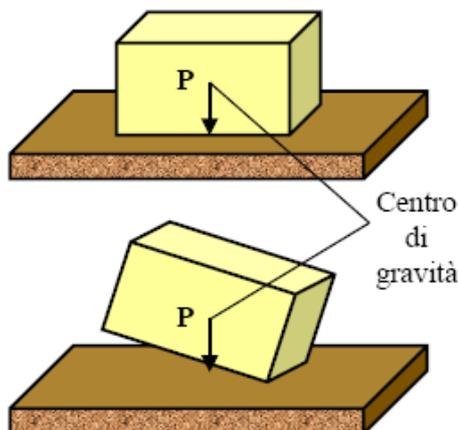


### 1.3 Equilibrio stabile, instabile e indifferente

Possiamo distinguere tre tipi diversi di equilibrio: **stabile, instabile, indifferente**.

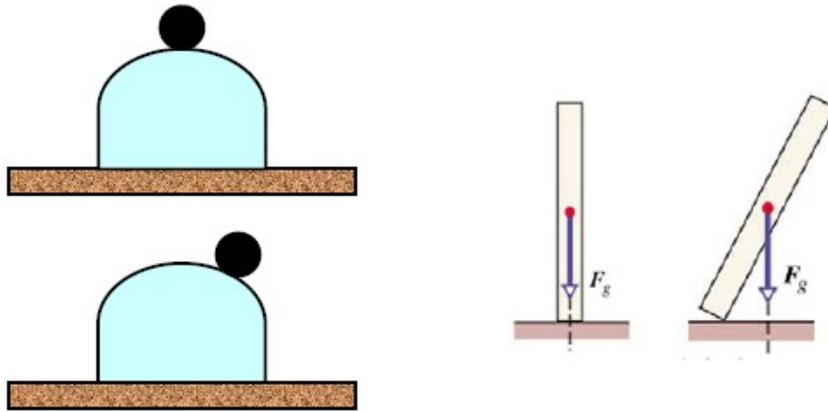
Prendiamo una grande tazza, il cui interno sia semisferico, e posiamo sul suo fondo una sferetta di ferro. La sferetta rimane in equilibrio nel punto più basso della superficie interna della tazza. Se adesso spostiamo un poco la sferetta e la lasciamo libera, questa si muove rimanendo abbastanza vicina al fondo. Anche se diamo una piccola spinta alla sferetta, questa si mette in movimento ma rimane sempre vicina al fondo.

**Equilibrio stabile:** si ha se le forze o i momenti di forza risultanti che insorgono a causa di un piccolo spostamento del corpo spingono il corpo indietro verso la sua posizione di equilibrio.



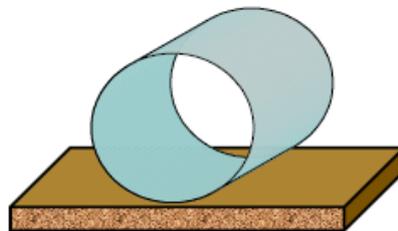
Anche se la stessa sferetta viene posta con molta attenzione esattamente sulla sommità della nostra tazza rovesciata rimane in equilibrio. Ma è sufficiente toccare appena la sferetta, oppure spostarla di poco dalla posizione di equilibrio, per mettere in moto la sferetta in modo che questa si allontani dalla posizione di equilibrio senza più tornarvi vicino.

**Equilibrio instabile:** si ha se le forze o i momenti di forza risultanti che insorgono a causa di un piccolo spostamento del corpo spingono il corpo lontano dalla sua posizione iniziale.



Un terzo tipo di equilibrio si ha quando posiamo la sferetta su un piano orizzontale. In qualunque posizione venga posta, la sferetta rimane in equilibrio.

**Equilibrio indifferente:** si ha quando, in seguito ad un piccolo spostamento del corpo, non vi sono forze o momenti di forza risultanti che tendano a riportarlo verso la sua posizione iniziale o ad allontanarlo da essa.



Se si ruota leggermente il cilindro, esso è di nuovo in equilibrio.

#### **1.4 Baricentro ed equilibrio di un corpo vincolato in un punto**

Consideriamo un righello omogeneo sospeso nel punto V.

Il corpo è soggetto all'azione del proprio peso che ora sappiamo di poter rappresentare con un vettore verticale applicato nel baricentro ed è soggetto alla reazione del vincolo.

Nella figura a il **baricentro si trova sotto il punto di sospensione V** e il righello è in **equilibrio stabile**.

Infatti, se lo spostiamo dalla posizione di equilibrio, il momento della forza-peso lo fa ruotare, riportandolo nella posizione di equilibrio iniziale.

Nella figura b, invece, il **baricentro si trova sopra il punto di sospensione V** e il righello è in **equilibrio instabile**.

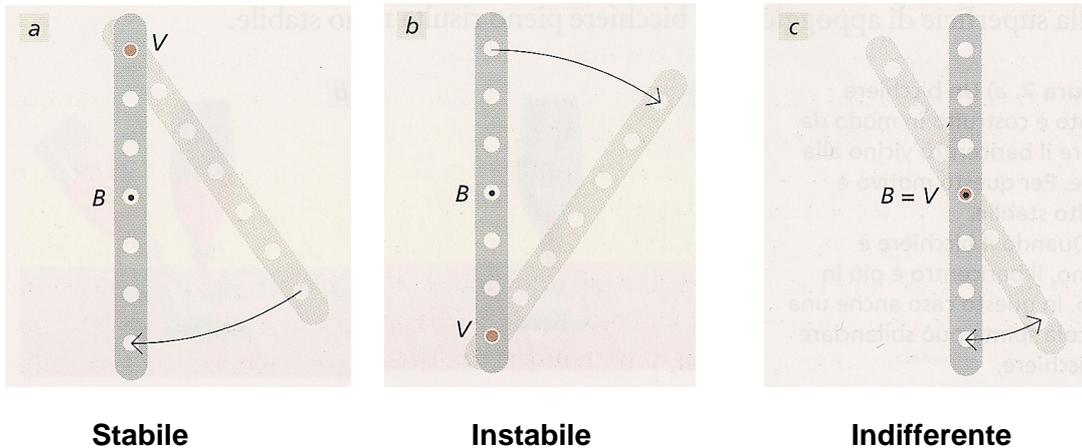
Infatti, se lo spostiamo, il momento della forza-peso lo fa ruotare, allontanandolo dalla posizione di equilibrio iniziale. La rotazione prodotta dal momento tende a portare il baricentro verso il basso finché lo stesso non si trova sulla verticale passante per il vincolo.

**Queste dunque le condizioni che ci permettono di valutare diverse situazioni di equilibrio di un corpo:**

1. vincolo e baricentro sulla stessa verticale;

## 2. baricentro nel punto più basso.

Nella figura c, il **baricentro coincide con il punto di sospensione V**. Se il righello viene allontanato da questa posizione, il momento del peso rimane nullo (braccio uguale a zero) e quindi il righello non ruota ma resta nella nuova posizione: è in **equilibrio indifferente**.



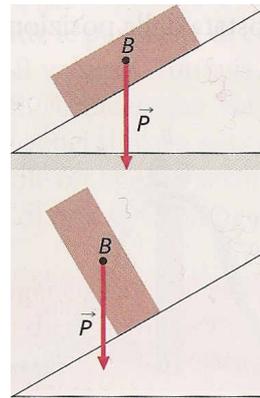
### 1.5 Baricentro ed equilibrio di un corpo appoggiato

Una cassa appoggiata su una superficie inclinata, è soggetta a due forze; il peso  $\vec{P}$  e la reazione vincolare  $\vec{R}_v$ .

Sperimentalmente:

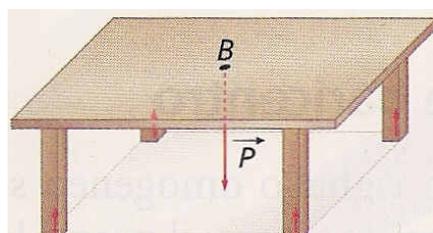
- la cassa rimane in **equilibrio** finché la **verticale** passante per il **baricentro** punta **all'interno** della base di appoggio

si **ribalta** nel caso contrario (la **verticale** per il **baricentro** cade **fuori** della base di appoggio)



Nel caso di un tavolo: l'effettiva superficie di contatto non è molto estesa, perché esso poggia sulle gambe. Però la base di appoggio è costituita dalla superficie rettangolare delimitata dalle gambe, che è molto più grande della superficie di contatto.

Il tavolo è in equilibrio, perché la forza-peso applicata al baricentro punta all'interno della base di appoggio (superficie grigia).



**Un corpo appoggiato su un piano è in equilibrio solo se la verticale passante per il baricentro cade all'interno della base di appoggio.**

Risoluzione del quesito iniziale:

Quando l'atleta è in equilibrio la somma delle forze applicate su ciascun anello deve essere zero. Su ogni anello agiscono due forze **F** e **T** che si equilibrano tra loro, la prima è la forza esercitata dall'atleta e la seconda quella della fune. Quando l'atleta è in equilibrio, la forza componente verticale della forza **F** deve equilibrare metà del peso dell'atleta (gli anelli sono due) e quindi comunque cambi la lunghezza delle funi, tale componente dovrà essere sempre uguale a  $P/2$ . La lunghezza delle funi influisce però sull'angolo che la forza **F** forma con la verticale: poiché la lunghezza delle braccia dell'atleta rimane costante, maggiore è la lunghezza della fune, minore è tale angolo e ciò influisce sull'intensità della forza che l'atleta deve esercitare per restare in equilibrio. La forza da esercitare sarà maggiore se la fune ha lunghezza minore.

## PROVA DI LABORATORIO

Nota didattica: Viene qui di seguito proposta una possibile esperienza di laboratorio da effettuare parallelamente allo studio della statica dei corpi. In particolare si vuole determinare:

**Le condizioni di equilibrio di un corpo su un piano inclinato al variare dell'altezza del piano.**

Esperimento: Equilibrio su un piano inclinato.

Richiami di teoria

Il piano inclinato è una macchina semplice il cui funzionamento è basato sul principio della scomposizione delle forze. In particolare, esso consente di scomporre la forza peso  $P$  di un corpo appoggiato al piano in due direzioni, una parallela e l'altra perpendicolare al piano (quest'ultima è annullata dalla reazione vincolare del piano medesimo). Se si indica con  $\alpha$  l'angolo che il piano inclinato forma con il piano orizzontale, la forza parallela al piano è data

da: 
$$p \cdot \sin \alpha = \frac{ph}{l}$$

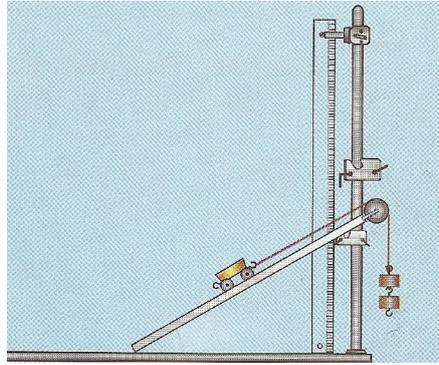
È questa la forza che bisogna vincere per sollevare il corpo e non l'intera forza peso.

Materiali occorrenti:

- un sostegno verticale;
- morsetti;
- piano inclinato;
- carrello con masse aggiuntive;
- carrucola;
- cordino (filo senza attrito);
- riga graduata;
- perno a pinza per sostenere la riga.

Esecuzione

- realizzare il sistema fisico rappresentato nello schema di figura (piano inclinato);
- sistemare la carrucola in modo tale che il cordino scivoli parallelamente al piano inclinato;
- misurare l'altezza  $h$  e la lunghezza  $l$  del piano inclinato;
- applicare al cordino che sostiene il carrello un contrappeso per bilanciare il peso del carrello;
- verificare che per equilibrare un peso  $p$  posto sul carrello basta la forza  $F_m$ , applicata al cordino e parallela al piano tale che  $F_m = \frac{ph}{l} = F_r$ . Quindi il piano inclinato è una macchina vantaggiosa e lo è tanto di più quanto minore è  $h$  e maggiore è  $l$ ;
- ripetere l'esperienza per diversi valori dell'altezza del piano inclinato.



### Conclusione

Si verifica che per equilibrare un peso  $P$  posto sul carrello non occorre una forza equilibrante uguale al peso ma basta equilibrare la componente del peso parallela al carrello.

## Verifica sommativa

- Un'automobile di  $1400\text{kg}$  si trova ferma su un pendio sterrato. L'attrito con il terreno la tiene in equilibrio.
- Disegna tutte le forze applicate al veicolo.
  - Quanto vale la forza di attrito se il rapporto fra l'altezza e la lunghezza del piano inclinato vale  $0,1$ ?
  - Qual è il coefficiente di attrito fra le superfici?

(pt.i 11)

- Una forza ha intensità pari a  $200\text{N}$  e genera un momento pari a  $600\text{N} \cdot \text{m}$ .  
Calcolare l'intensità del braccio.

(pt.i 4)

- Due forze parallele e concordi di intensità  $10\text{N}$  e  $20\text{N}$  sono applicate alle estremità di un righello di lunghezza  $30\text{cm}$ .
- Disegna lo schema delle forze, indicando il centro del righello.
  - Dove è applicata la forza risultante: a quale distanza dal centro e da che parte rispetto alle due forze assegnate?

(pt.i 6)

- Due forze parallele e discordi  $\vec{F}_1 = 60\text{N}$  e  $\vec{F}_2 = 30\text{N}$  sono applicate allo stesso corpo rigido. Sono poste alla distanza di  $40\text{cm}$ .
- Rappresentare la situazione con un disegno.
  - Trovare l'intensità della risultante ed il punto di applicazione.

(pt.i 9)

- Considera i seguenti oggetti: carriola, schiaccianoci, forbici, remo di una barca.
- Fai uno schema di disegno per ogni oggetto.
  - Sotto ogni disegno scrivi se è una leva di primo, secondo o terzo genere.
  - Per ogni oggetto stabilisci se si tratta di una leva vantaggiosa o svantaggiosa.

(pt.i 10)

Griglia di valutazione ottenuta con la proporzione che fa corrispondere al massimo punteggio 10.

0-4	5-8	9-12	13-17	18-21	22-26	27-30	31-34	35-38	39-40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

## UNITA' DI DIDATTICA 2: I FLUIDI

### Sviluppo dei contenuti

#### 2.1 Cos'è un fluido?

Nota didattica: si propone agli studenti una fotografia-stimolo con una didascalia in forma di domanda a cui potranno rispondere dopo aver studiato questa Unità.



- Un aereo come quello della fotografia ha una massa di molte tonnellate: eppure rimane in volo a causa della spinta che l'aria esercita sulle sue ali. Come è possibile che una sostanza così rarefatta come l'aria possa sostenere un peso simile?

Nota didattica: l'intenzione è di partire da concetti e termini usati nel quotidiano e di cui hanno una conoscenza intuitiva per poi astrarre e formalizzare nel linguaggio della fisica. Molte delle sostanze su cui si basa la nostra vita sono allo stato fluido: l'aria che respiriamo, il sangue che circola nelle nostre arterie, l'acqua che forma la maggior parte del nostro corpo. Ma che cos'è un fluido? E quali sono le leggi che ne caratterizzano il comportamento?

I sistemi fisici che abbiamo considerato finora sono costituiti da particelle singole o da corpi solidi.

I solidi hanno la caratteristica di essere rigidi, perché hanno una forma e un volume fissati che, nelle normali condizioni ambientali, non cambiano in modo apprezzabile nel tempo.

Nella vita quotidiana però incontriamo assai spesso sostanze allo stato fluido, ossia i **liquidi** e i **gas**, come per esempio l'acqua o l'aria.

Una proprietà comune dei fluidi è costituita dal fatto che le particelle possono spostarsi per lunghe distanze. Infatti nei liquidi le particelle possono scorrere le une sulle altre, mentre negli aeriformi si muovono quasi liberamente urtando fra loro e contro le pareti del recipiente che li contiene.

Dal movimento delle particelle (forze di coesione che tengono unite le particelle di cui i corpi sono composti molto intense nei solidi, molto meno nei liquidi ed ancora meno nei gas) deriva la proprietà dei fluidi di non avere una forma propria, ma di assumere sempre quella del recipiente che li contiene.

I liquidi riempiono i contenitori in cui vengono posti, assumendone la forma, esattamente come avviene se mettiamo una grande quantità di piccole biglie d'acciaio dentro un contenitore. Un liquido infatti sotto l'azione del proprio peso, tende a espandersi ovunque ed a occupare la parte più bassa del recipiente in cui contenuto. Per lo stesso motivo la superficie di un liquido tende a mantenersi orizzontale. Un liquido ha però un volume definito: per variare il volume di un liquido è necessario esercitare forze molto intense, così intense che in pratica possiamo assumere che i liquidi siano **incomprimibili**.

I gas tendono a occupare tutto il contenitore in cui sono posti, assumendone forma e volume, qualunque sia la quantità. Contrariamente ai liquidi, i gas sono molto **comprimibili**, cioè possono essere ridotti con facilità a un volume più piccolo.

Osserviamo che una singola sostanza si presenta allo stato solido, liquido o gassoso a seconda dei valori che assumono alcuni parametri fisici che ne caratterizzano appunto lo stato, come per esempio la temperatura.

Nota didattica: anche se ci riferiremo principalmente ai liquidi, la maggior parte delle considerazioni che faremo e dei risultati che stabiliremo si possono estendere anche alle sostanze aeriformi.

Da un punto di vista macroscopico, cioè indipendentemente dalla discontinua struttura molecolare, la meccanica dei fluidi si può considerare una meccanica dei sistemi continui, avente lo scopo di studiare sia le leggi dell'equilibrio (**IDROSTATICA**) sia le leggi del movimento (**IDRODINAMICA**).

Nota storica: per quanto riguarda l'idrostatica, le sue origini si possono far risalire ad Archimede, nato a Siracusa nel 287 a.C. nella trattazione Sui corpi galleggianti, Archimede scoprì il celebre principio che porta il suo nome.

All'era precristiana risalgono le prime macchine idrauliche, come la pompa aspirante munita di pistoni, l'orologio ad acqua e altri ingegnosi manovellismi idrostatici, ideati, come raccontano gli storici, da Erone e da Ctesibio della Scuola Alessandrina del III secolo a. C.

In senso puramente scientifico, l'assetto dell'idrostatica ebbe inizio solo verso la fine del XVI secolo, soprattutto per opera del fiammingo Simon Stevin e, nel XVII secolo, del francese Blaise Pascal e dell'italiano Evangelista Torricelli.

## 2.2 L'idrostatica

Vediamo che cosa si intende per fluido in equilibrio.

Abbiamo visto, quando abbiamo accennato agli stati di aggregazione della materia che i fluidi, a differenza dei solidi, non hanno forma propria. Ciò significa che in un fluido ogni molecola è libera di muoversi con una certa libertà rispetto alle altre.

Questa "libertà di movimento" di cui godono le particelle di un fluido complica notevolmente la situazione, costringendoci a rinunciare a concetti come quello di corpo rigido. Infatti le particelle di un fluido, anche se vicine, possono avere stati di moto completamente diversi e d'altra parte non è realistico pensare di poter seguire ogni particella nel suo moto caotico all'interno del fluido, dato l'elevatissimo numero di particelle che lo compongono.

Quindi quando si parla di **fluido in equilibrio non si fa riferimento alle singole molecole di cui è composto ma ad una qualunque sua parte abbastanza grande da essere osservabile su scala macroscopica**. Come una grande folla di persone, vista da lontano, può sembrarci immobile anche se le singole persone si muovono.

Dovremo quindi individuare grandezze specifiche che ci permettano di descrivere lo stato del fluido nel suo insieme, o perlomeno di una parte sufficientemente grande di esso.

Nel seguito pertanto, tratteremo solo i **fluidi ideali**, per i quali si può ritenere che:

- sono incompressibili;
- le molecole del fluido non producono forze attrattive fra loro e con le pareti del recipiente in cui si trovano (**viscosità nulla**).

In tale ipotesi possiamo allora immaginare (peraltro con buona aderenza a ciò che realmente avviene) che porzioni di fluido anche sufficientemente grandi si comportino **rigidamente** e saremo perciò autorizzati ad usare quei concetti già introdotti per spiegare l'equilibrio dei corpi rigidi.

**Un fluido è in equilibrio, quando si realizza l'equilibrio fra le forze che tendono a metterlo in moto**, come per esempio il suo peso, le forze esercitate su di esso dalle pareti del recipiente che lo contiene, ...

### **2.2.1 Il concetto di forza applicata ad un fluido: la pressione. La densità**

Nota didattica: da queste semplici osservazioni si ricava che nello studio dei fluidi, a differenza di quanto avviene nei solidi, non ha senso parlare di forza applicata ad un punto; si deve invece pensare alla forza distribuita su una superficie, cioè la pressione.

Trattando di fluidi ciò che sicuramente dobbiamo rivedere in modo radicale è il concetto di forza applicata ad un corpo. Infatti quando nel caso di un corpo rigido (solido) si parlava di forza ad esso applicata implicitamente si ammetteva che la forza avesse un punto di applicazione ben preciso: la rigidità del corpo faceva il resto.

È facile rendersi conto che a proposito di un fluido questo concetto non ha più ragione di esistere (nessuno si sognerebbe mai di voler applicare una forza ad un liquido contenuto in un recipiente spingendo su di esso con un dito in un punto ben preciso). Per comprendere meglio il concetto analizziamo la seguente situazione: uno sciatore del peso di 70 Kg<sub>p</sub> riesce a non affondare nella neve se calza ai piedi un paio di sci, mentre può affondare anche considerevolmente se calza un paio di normali scarponi.

In entrambi i casi la forza che si esercita sulla neve è sempre la stessa, ovvero il peso dello sciatore; ciò che è cambiato da una situazione all'altra è la superficie su cui questa forza (in questo caso il peso) si è distribuita. Questa semplice constatazione induce ad introdurre il concetto di **PRESSIONE p** denotando con questo termine una nuova grandezza definita come il rapporto tra la forza F che si esercita perpendicolarmente a una superficie e l'area della superficie S su cui detta forza agisce ossia:

$$p=F/S.$$

In altri termini: la pressione è la forza per unità di superficie.

La pressione è una grandezza scalare la cui unità di misura nel sistema internazionale è ovviamente il N/m<sup>2</sup> detto **PASCAL**.

Per descrivere lo stato di un fluido è opportuno introdurre una nuova grandezza fisica: la **DENSITÀ ρ** ovvero il rapporto tra una certa massa ed il volume in cui questa massa è contenuta ossia per definizione è

$$\rho = \text{massa} / \text{volume} = m / V.$$

La densità è la massa per unità di volume.

Unità di misura della densità sarà ovviamente Kg/m<sup>3</sup> (questa definizione vale anche per i solidi).

La densità ci dà informazioni sulla quantità di materia di una determinata sostanza che occupa una ben precisa regione di spazio.

La densità ha a che fare con la "voluminosità" della materia. Oggetti formati della medesima sostanza, per esempio di ferro, possono avere massa, forma e volume molto differenti: una trave di ferro e un chiodo di ferro hanno massa e volume del tutto diversi, ma la loro densità è la stessa. La densità è una proprietà della sostanza, non dell'oggetto realizzato con quella sostanza.

Così se prendo due bottigliette che hanno la stessa capienza, ma riempite con sostanze diverse: in una mercurio, nell'altra acqua. La sensazione che ne ricavi prendendo in mano prima una e poi l'altra è assai diversa. Lo sforzo che devi fare per sorreggere la bottiglietta è assai maggiore nel caso del mercurio. Evidentemente queste sostanze visto che occupano volumi tra loro uguali, sono caratterizzate da una diversa consistenza: il mercurio risulta più consistente dell'acqua.

**Quesito: "Pesa di più 1Kg di ferro o 1Kg di piume?"**

La risposta a questo vecchio quesito è che, naturalmente. Hanno la stessa massa e quindi lo stesso peso. La differenza tra il ferro e le piume è la loro densità: sebbene le due sostanze abbiano la stessa massa, tuttavia hanno volumi diversi. Un decimetro cubo di ferro e un decimetro cubo di piume non hanno la stessa massa.

Se anziché considerare la massa contenuta in un certo volume prendiamo in esame il peso dell'elemento di volume possiamo definire il **PESO SPECIFICO**  $P_s$  di un fluido (lo stesso vale per i solidi) inteso come:

$$P_s = \text{peso/volume} = P/V$$

che ovviamente sarà misurato in  $\text{Kg}_p/\text{dm}^3$ .

### **2.2.2 Il principio di Pascal**

La pressione è una grandezza che viene frequentemente utilizzata nella descrizione del comportamento dei fluidi. Per esempio, possiamo facilmente spiegare perché, se gonfiamo un palloncino, questo prima o poi scoppia: a mano a mano che introduciamo aria, questa esercita una pressione crescente all'interno del palloncino, fino a quando dà luogo a una forza che è maggiore della resistenza elastica del materiale di cui è fatto il palloncino: a questo punto il palloncino scoppia.

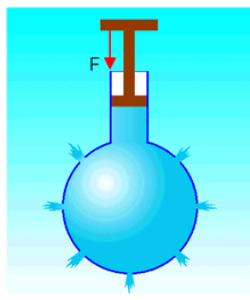
Esiste un altro modo per far scoppiare il palloncino: esercitare una forza opportuna su di esso. Agendo su una porzione di superficie del palloncino, questa forza dà luogo a una pressione che agisce su tutta l'aria in esso contenuta: si può verificare sperimentalmente che questa pressione si trasmette attraverso l'aria interna su tutta la superficie del palloncino.

Quanto abbiamo visto è un'applicazione di un principio generale, noto come **LEGGE DI PASCAL**.

**UNA PRESSIONE APPLICATA A UN FLUIDO RACCHIUSO IN UN CONTENITORE SI TRASMETTE INVARIATA A TUTTE LE PORZIONI DEL FLUIDO E ALLE PARETI DEL CONTENITORE.**

**Quesito: Si consideri ora un fluido contenuto in un recipiente, per esempio cilindrico. Come esercitare una pressione su di esso o su una porzione di esso?**

Il modo più semplice è quello di applicare una forza tramite un pistone su una parte della superficie del fluido e valutare poi come l'azione esercitata si trasmette nel fluido.



Se nella parete laterale del cilindro (pieno d'acqua) viene praticato un piccolo foro l'esperienza mostra che esercitando una forza sul pistone, l'acqua fuoriesce dal foro in maniera tanto più violenta quanto maggiore è la forza esercitata. Eseguendo poi l'esperienza con un recipiente sferico recante diversi fori si nota che l'intensità con cui fuoriesce l'acqua dai vari fori è la stessa indipendentemente dalla posizione occupata.

Occorre ora tradurre quantitativamente le conseguenze del principio di Pascal. Allo scopo consideriamo due recipienti cilindrici di sezioni uguali contenenti un liquido e muniti ciascuno

di un pistone. I due recipienti siano inoltre posti in comunicazione mediante un condotto (una volta stabilito l'equilibrio si nota che il livello raggiunto dal liquido nei due recipienti è lo stesso; in seguito daremo un'interpretazione fisica di questa evidenza sperimentale).

Se su uno dei due pistoni esercitiamo una forza, ad esempio ponendovi un peso, notiamo che questo si abbassa di un tratto  $h$ . Per riportare il sistema nelle condizione iniziale (uguale livello nei due recipienti) è necessario porre sull'altro pistone un peso uguale a quello posto sul primo. Questo significa che il sistema è di nuovo in equilibrio quando la pressione sui due pistoni è la stessa. Ripetiamo ora l'esperienza con pistoni aventi sezioni diverse ad esempio una doppia dell'altra.

Come prima poniamo un peso  $F_1$  sul pistone più piccolo (di area  $S_1$ ), il quale si abbasserà anche in questo caso di un certo tratto. Ora se vogliamo riportare il sistema nelle condizioni iniziali l'esperienza mostra che è necessario porre sul pistone più grande (di area  $S_2$ ) un peso  $F_2$  esattamente doppio di quello posto dall'altra parte. Questo significa che l'equilibrio viene raggiunto quando i pesi, cioè le forze agenti, sono direttamente proporzionali alle rispettive aree ossia quando vale la relazione

$$F_1/S_1 = F_2/S_2$$

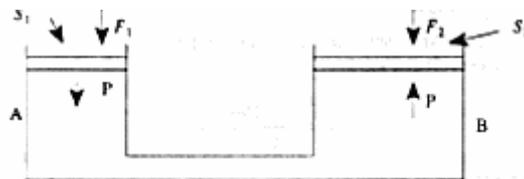
ma essendo per definizione  $F_1/S_1 = p_1$  (pressione sul pistone di destra) e  $p_2 = F_2/S_2$  (pressione sul pistone di sinistra) la precedente condizione di equilibrio può essere riformulata come

$$p_1 = p_2,$$

ossia il sistema ritorna nelle condizioni di equilibrio iniziale se entrambe le sezioni sono sottoposte alla stessa pressione.

**CURIOSITÀ:** Sulla legge di Pascal si basano molti dispositivi idraulici, tra cui il martinetto e il circuito frenante delle automobili.

Lo scopo di questi dispositivi è quello di ottenere una forza molto intensa mediante l'azione di una forza di intensità modesta su un fluido.



Se  $S_2 = 10S_1$ , cioè se l'area del pistone di destra è 10 volte quella del pistone di sinistra, allora  $F_2 = 10F_1$ : il martinetto ha moltiplicato per 10 l'intensità della forza iniziale.



Il recipiente della figura è completamente pieno di olio ed è chiuso mediante due tappi uguali. Se diamo un colpo secco a uno dei tappi, l'altro salta.

### **2.2.3 Legge di Stevin**

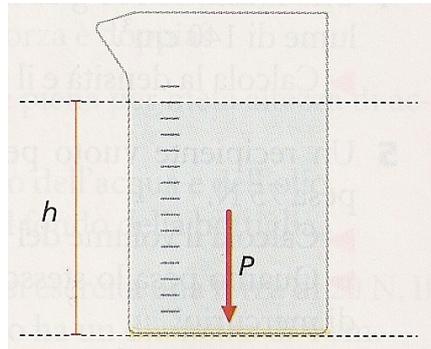
Anche i liquidi sono soggetti alla forza peso e quindi esercitano una pressione.

Su qualsiasi superficie all'interno di un liquido agisce una pressione, dovuta al liquido sovrastante, che trasmette il suo peso alla superficie.

La pressione esercitata da un liquido, che non è in movimento, si chiama pressione idrostatica.

**Quesito?: Da cosa dipende la pressione idrostatica?**

Calcoliamo la pressione idrostatica nel caso particolare di un liquido contenuto in un cilindro graduato:



Il volume occupato dal liquido è  $V = Ah$ .

La forza esercitata sul fondo è data dal peso del liquido:  $P = P_s V$ .

Sostituendo nella definizione di pressione, troviamo:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{P}{A} = \frac{P_s V}{A} = P_s \frac{Ah}{A} = P_s h$$
$$p = P_s h$$

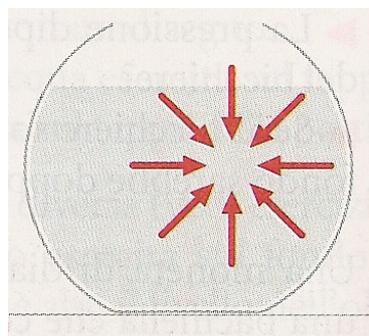
Facili verifiche sperimentali consentono di stabilire che questa legge vale qualunque sia la forma del recipiente e qualunque sia l'altezza della colonna del liquido sovrastante e va sotto il nome di:

**Legge di Stevin: la pressione che un liquido esercita ad una profondità  $h$  di un recipiente è data dal prodotto del peso specifico per l'altezza  $h$  del liquido:**

$$p = P_s h$$

All'interno di un liquido tutti i punti che si trovano alla stessa profondità sono alla stessa pressione e risulta la stessa in ogni direzione.

Infatti, consideriamo un volumetto di liquido tanto piccolo da poter trascurare il suo peso. Se il liquido è in equilibrio, la risultante delle forze sul volumetto deve essere nulla. Questo significa che la pressione esercitata in un punto è equilibrata da quella che si esercita nel punto diametralmente opposto e così per tutte le direzioni.

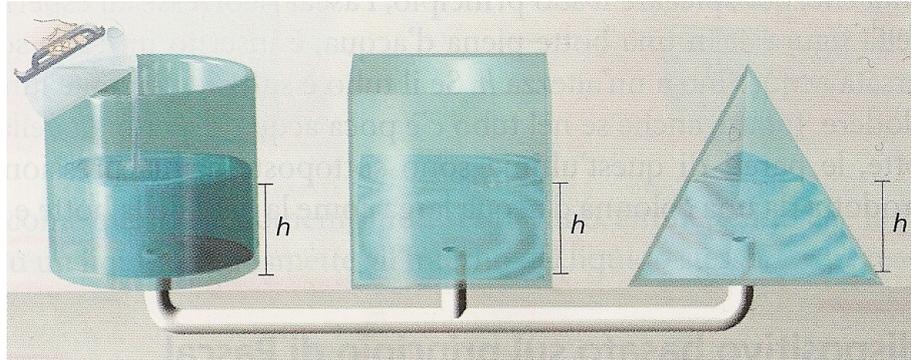


Nota didattica: si potrebbe far notare che tutto questo risulta visibile quando nuotiamo. All'aumentare della profondità, aumenta la pressione che l'acqua esercita sul nostro corpo e, in particolare, sui timpani. Se nuotiamo in direzione orizzontale a una certa profondità, possiamo notare che la pressione non aumenta. Anche se ruotiamo la testa, non notiamo alcuna variazione di pressione, a conferma del fatto che, a una data profondità, le forze di pressione sono uguali in tutte le direzioni.

Vediamo ora alcune conseguenze della legge di Stevin

**a) Il principio dei vasi comunicanti**

In figura sono rappresentati alcuni vasi comunicanti: recipienti di forme e dimensioni diverse, che comunicano fra loro attraverso un tubo.

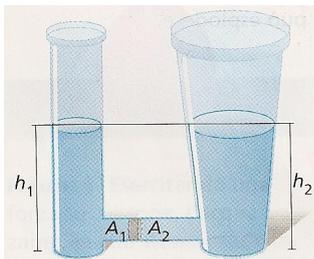


L'acqua versata in uno qualsiasi dei recipienti passa attraverso il tubo di comunicazione e raggiunge lo stesso livello in tutti i recipienti. Lo stesso accade indipendentemente dal numero dei recipienti e qualunque sia il liquido.

**Dati più recipienti, anche di forma diversa, comunicanti fra loro, un qualsiasi liquido versato in uno di essi raggiunge lo stesso livello in tutti i recipienti.**

Il principio appena enunciato si spiega con la legge di Stevin.

Consideriamo per semplicità due soli recipienti e un piccolo strato di liquido (di peso specifico) limitato dalle superfici di aree e uguali, all'interno del tubo di comunicazione.



La pressione idrostatica su  $A_1$  ( $p_1 = P_s h_1$ ) spinge il liquido verso destra; la pressione su  $A_2$  ( $p_2 = P_s h_2$ ) lo spinge verso sinistra. Poiché il liquido è in equilibrio, lo strato non si muove e le due pressioni sono uguali:

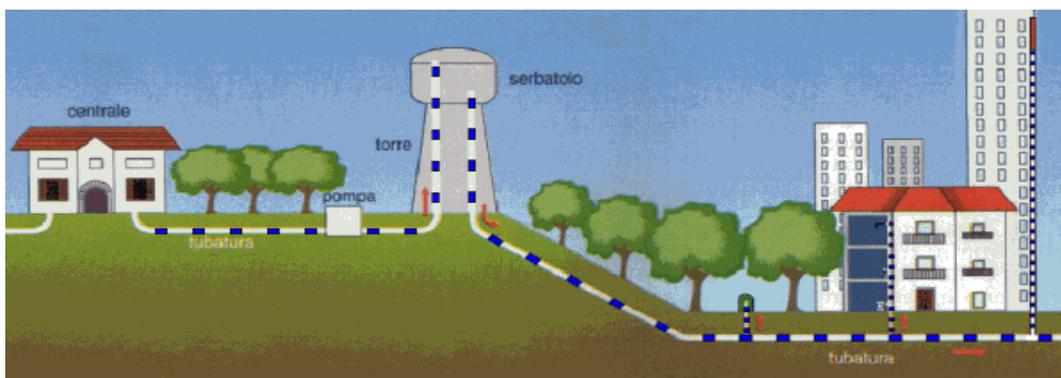
$$P_s h_1 = P_s h_2$$

Dividendo entrambi i membri dell'uguaglianza per il peso specifico, otteniamo

$$h_1 = h_2$$

cioè l'altezza del liquido deve essere la stessa in entrambi i vasi.

**CURIOSITÀ:** applicazione nella distribuzione dell'acqua in una rete idrica di una zona



Nota didattica: in generale un fluido può essere soggetto a pressioni esterne, quali ad esempio la pressione atmosferica, di cui parleremo più avanti. In virtù della legge di Pascal questa pressione si somma alla precedente.

#### **2.2.4 La spinta di Archimede**

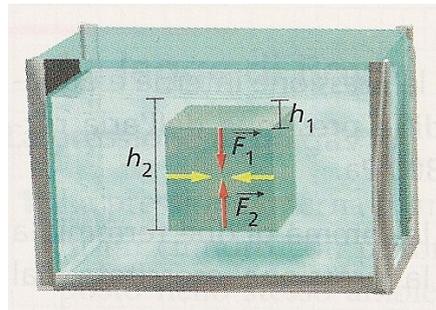
Il galleggiamento è un fenomeno molto comune, cosicché difficilmente ci poniamo domande del tipo:

**Quesito: Perché certi oggetti galleggiano e altri affondano? Cosa hanno in comune una mongolfiera e una nave?**

Sappiamo che la forza risultante che agisce su un oggetto in quiete, quale ad esempio un oggetto che galleggia, è nulla; pertanto alla sua forza peso deve opporsi una forza diretta verso l'alto.

Per capire perché certi oggetti galleggiano è necessario pertanto individuare le forze di galleggiamento che si oppongono alla forza di gravità.

La forza di galleggiamento esiste, perché abbiamo visto che la pressione nei fluidi varia con la profondità. Per capire meglio questa affermazione consideriamo un cubo di fluido come mostrato nella figura:

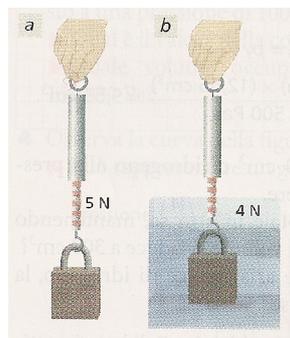


Sul blocco si esercitano forze distribuite su tutte le facce:

- le forze che agiscono sulle facce laterali si fanno equilibrio;
- la faccia superiore si trova alla profondità  $h_1$ , perciò è sottoposta alla pressione  $p_1 = P_s h_1$ .  
Se  $A$  è l'area della faccia, essa risente di una forza distribuita  $F_1 = p_1 A$  diretta verso il basso;
- la faccia inferiore, invece, si trova alla profondità  $h_2$  e risente di una forza distribuita  $F_2 = p_2 A$  diretta verso l'alto.

$F_2$  è maggiore di  $F_1$  (poiché la pressione sulla superficie inferiore del blocco è maggiore che sulla superficie superiore, per la legge di Stevin) pertanto la risultante delle due forze è una forza orientata verso l'alto, che viene detta **spinta idrostatica** o **spinta di Archimede**.

Consideriamo ora un corpo che pesa  $5N$  (figura a). Immergiamo il corpo in un liquido (figura b) e vediamo che il dinamometro segna un valore diverso:  $P' = 4N$ .



### Quesito: Come mai?

Infatti, sul corpo si esercita la forza peso diretta verso il basso e la spinta di Archimede diretta verso l'alto.

Quando il corpo è immerso, il dinamometro misura la differenza tra il peso e la spinta.

### PROVA DI LABORATORIO

Nota didattica: con questa esperienza ci si propone non tanto la verifica di una legge fisica, quanto la sua costruzione, attraverso una serie di ipotesi e di controlli sperimentali. La spinta idrostatica viene studiata cercando la sua eventuale dipendenza da quattro grandezze diverse: la quantità e il peso specifico del liquido, la massa e il volume dell'oggetto immerso.

Esperimento: **"Indagine sulla spinta di Archimede"**

Nota didattica: è opportuno che questa esperienza sia svolta a gruppi.

Materiale occorrente:

- 3 becher;
- Dinamometro;
- Acqua e alcol;
- Sale da cucina;
- Alcuni oggetti di diversi materiali e dimensioni;
- Limatura di ferro.

Esecuzione:

#### 1. Spinta idrostatica e quantità di liquido

- Si misura il peso  $P$  di un oggetto con il dinamometro.
- Si riempie d'acqua un becher fino all'orlo, si immerge lo stesso oggetto e si misura il peso  $P_i$  dell'oggetto immerso.
- Si calcola la forza idrostatica che agisce sull'oggetto immerso (differenza tra  $P$  e  $P_i$ ).
- Si svuota il becher fino a metà e si ripete la misura precedente.

#### 2. Spinta idrostatica e peso specifico del liquido

- Si prepara una soluzione sciogliendo alcuni cucchiaini di sale in acqua, se ne calcola la densità e si versa la soluzione in un becher.
- Si riempie il secondo becher di alcol e il terzo di acqua.
- Si determina la spinta idrostatica subito dall'oggetto nei tre liquidi, con lo stesso procedimento eseguito al punto 1.

#### 3. Spinta idrostatica e massa dell'oggetto

- Si preparano oggetti di volumi uguali e masse differenti; per esempio, si riempie una boccetta di quantità differenti di limatura di ferro.
- Per ognuno di questi oggetti, si determina la spinta idrostatica subito nell'acqua, con lo stesso procedimento al punto 1.

#### 4. Spinta idrostatica e volume dell'oggetto

- Si ripetono le misure eseguite al punto 1 con oggetti di volume differente.

Considerazioni

Ogni punto di questa ricerca indaga su una possibile relazione tra due grandezze fisiche escludendo le altre.

Esperimento: **"Determinazione sperimentale della legge"**

A un piattello di una bilancia appendiamo due cilindri di volume identico, uno pieno e l'altro cavo.

Sull'altro piattello aggiungiamo delle masse, in modo che la bilancia sia in equilibrio.

Se immergiamo il cilindro pieno in una bacinella che contiene un liquido, la bilancia modifica l'equilibrio e pende dalla parte opposta a quella dei cilindri. Ciò significa che il liquido esercita sul cilindro immerso una forza diretta verso l'alto. Si tratta ora di determinare quanto è grande questa forza. Riusciamo a ristabilire l'equilibrio di partenza riempiendo il cilindro cavo dello stesso liquido contenuto nella bacinella. La forza verso l'alto che il liquido esercita sul corpo immerso è quindi pari al peso del liquido contenuto nel cilindro cavo.

Poiché i due cilindri hanno lo stesso volume, concludiamo che la forza esercitata dal liquido è pari al peso del liquido che il cilindro immerso ha spostato.

Ritornando all'esempio precedente (quello del cubo di fluido):

La forza, diretta verso il basso, che si esercita sulla superficie superiore è data dal peso della colonna di fluido che sta sopra il cubo. La forza, diretta verso l'alto, che viene impressa sulla superficie inferiore è pari al peso della colonna di fluido che sta sopra la superficie inferiore. La differenza tra queste due forze è proprio il peso del cubo di fluido. La pressione non cambia se al posto del cubo di fluido mettiamo un cubo di qualsiasi altro materiale, purché abbia esattamente la stessa forma. Pertanto, la forza risultante diretta verso l'alto è uguale al peso del fluido che è stato sostituito.

**L'enunciato del principio di Archimede**

**Un corpo immerso dentro un liquido riceve da questo una spinta verso l'alto uguale al peso del liquido che sposta.**

Se immergiamo un corpo solido in un liquido, per esempio in acqua, vediamo che il livello del liquido si innalza. Ciò significa che una certa quantità di acqua viene spostata verso l'alto. Più grande è il volume del corpo, maggiore è la quantità di acqua spostata.

Altra espressione per calcolare la spinta di Archimede in funzione del peso specifico del liquido e volume del corpo immerso.

$$\text{peso liquido spostato} = (\text{peso specifico liquido}) \times (\text{volume liquido spostato}).$$

Al posto del (volume liquido spostato) possiamo sostituire il (volume corpo) perché sono uguali:

$$\text{peso liquido spostato} = (\text{peso specifico liquido}) \times (\text{volume corpo}).$$

Pertanto: **spinta = (peso specifico liquido) × (volume corpo).**

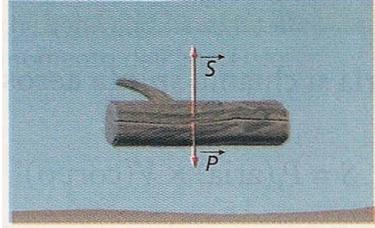
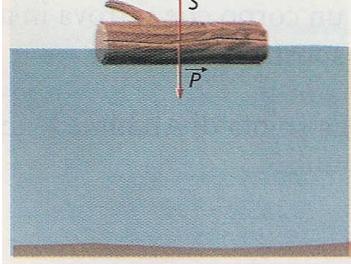
**Corpi che affondano, corpi che galleggiano**

Un corpo immerso in un liquido può **AFFONDARE** o **GALLEGGIARE**.

In ogni caso le forze che agiscono sul corpo sono due: il peso e la spinta di Archimede.

Il peso del corpo è:  $P = P_s(\text{corpo}) \times V(\text{corpo})$

La spinta di Archimede è:  $S = P_s(\text{liquido}) \times V(\text{corpo})$

<p>Se il peso <math>P</math> è maggiore della spinta <math>S</math>, quando cioè il peso specifico del corpo è maggiore del peso specifico del liquido, il corpo affonda.</p> <p>Esempio. Un pezzo di ferro (peso specifico = <math>76440N/m^3</math>) immerso in acqua (peso specifico = <math>9800N/m^3</math>) affonda, perché il peso specifico del ferro è maggiore di quello dell'acqua.</p> <p>Lo stesso pezzo di ferro galleggia, se viene immerso nel mercurio (peso specifico = <math>133280N/m^3</math>).</p>	
<p>Se il peso <math>P</math> è minore della spinta <math>S</math>, quando cioè il peso specifico del corpo è minore di quello del liquido, il corpo viene spinto verso l'alto.</p>	
<p>Quando esso è parzialmente fuori dal liquido, il volume della parte immersa diminuisce e quindi diminuisce la spinta di Archimede. Il corpo continua a emergere, finché si raggiunge l'equilibrio, cioè finché la spinta uguaglia il peso. Il corpo galleggia.</p>	

**Quesito: Ma allora perché una boccia di ferro, abbandonata sulla superficie dell'acqua, affonda immediatamente e una barca, costruita con il ferro fuso ottenuto fondendo la boccia, galleggia?**

La barchetta pure avendo evidentemente lo stesso peso che aveva la boccia galleggia tranquillamente in quanto ora la sua forma è tale da permettere di spostare una quantità di acqua molto maggiore che le conferisce una spinta verso l'alto sufficiente a non farla affondare.

Notare che la forza di galleggiamento è sempre presente, anche quando un oggetto affonda! Potete fare questa verifica appendendo un piccolo oggetto a un elastico. Se immergete l'oggetto in un bicchiere d'acqua la tensione nell'elastico diminuisce perché la forza di galleggiamento contribuisce a sostenere l'oggetto.

### **2.2.5 Pressione atmosferica**

A causa del proprio peso, l'aria esercita su qualsiasi corpo in essa immerso una pressione, chiamata **pressione atmosferica**, diretta perpendicolarmente alla superficie limite dell'oggetto, qualunque sia l'orientazione della superficie, con modalità del tutto simili alla pressione dei liquidi.

La pressione idrostatica esercitata da una colonna di mercurio alta 76 cm, alla temperatura di 0°C e al livello del mare prende il nome di **atmosfera**.

Nota storica: Nel 1644 E. Torricelli, fisico matematico allievo di Galileo, in una storica lettera inviata a M. Ricci comunicò di essere riuscito a misurare l'anno prima la pressione atmosferica.

$$1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 760 \text{ torr}$$

La legge di Stevin si potrebbe dunque riscrivere considerando oltre che la pressione idrostatica anche la pressione atmosferica, cioè la pressione che viene esercitata sulla superficie libera del liquido.

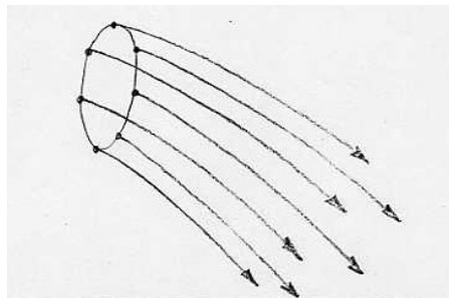
$$p = P_s h + p_0$$

### 2.3 L'idrodinamica

Il più semplice tipo di movimento di cui ci occupiamo è il **moto stazionario** in cui le proprietà del moto non variano col passare del tempo. Tutte le particelle di fluido hanno la stessa velocità in un determinato punto P, anche se questa velocità può variare da punto a punto.

Le traiettorie descritte dalle particelle si chiamano **linee di corrente**. La direzione delle linee di corrente coincide con la direzione della velocità delle particelle. Le linee di corrente possono essere evidenziate nell'acqua che scorre in un condotto, iniettando in vari punti del condotto piccole quantità di liquido colorato, oppure mettendo nell'acqua dei corpi leggeri, come segatura o sferette di plastica. Nei condotti a sezione costante le linee di corrente sono sempre equidistanti mentre in quelli a sezione variabile si infittiscono nella regione in cui la sezione si restringe.

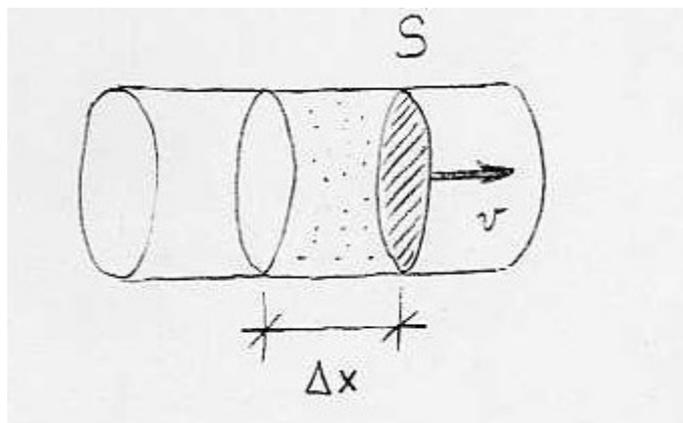
Le linee di corrente che passano per i punti di una linea chiusa tracciata nell'interno di un condotto formano un **tubo di corrente** o **tubo di flusso**.



Il fluido scorre nell'interno di un tubo di corrente come se fosse in un condotto, cioè senza mescolarsi col fluido che scorre all'esterno del tubo. Tutte le considerazioni che faremo per un condotto saranno valide anche per i tubi di corrente.

Osserviamo che il volume del fluido che in un certo intervallo di tempo attraversa la sezione di un condotto non varia con la sezione. Infatti ove ciò non avvenisse avremmo accumulo di fluido in alcune regioni, in cui la densità aumenterebbe, in contrasto con l'incompressibilità del fluido.

In particolare il volume di fluido che attraversa una sezione del condotto nell'unità di tempo, detto **portata** attraverso il condotto, ha lo stesso valore per tutte le sezioni del condotto. Per il calcolo della portata ci riferiamo per semplicità a un condotto cilindrico di sezione S. Il volume di fluido che attraversa la sezione S nell'unità di tempo è quello che si trova a monte di S a una distanza massima uguale allo spazio percorso nell'unità di tempo, cioè alla velocità.

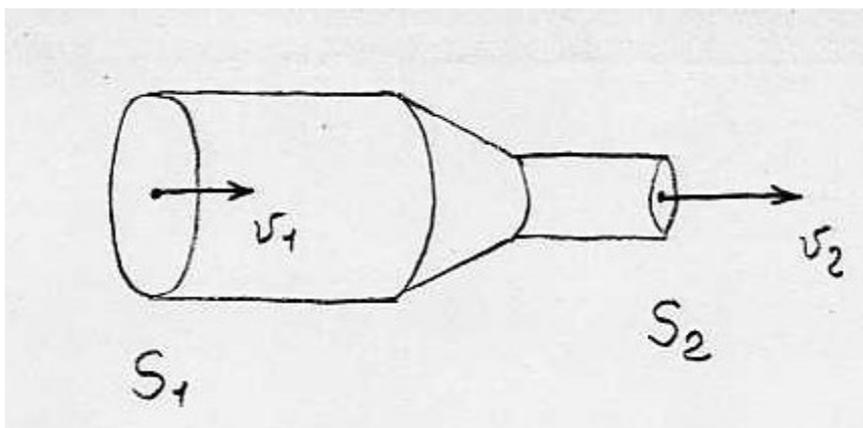


Deduciamo perciò che la portata  $Q$  è uguale al volume del fluido contenuto nel cilindro di base  $S$  e altezza  $v$ :

$$Q = Sv$$

L'unità di misura nel sistema S.I. è  $m^3/s$ .

Poiché la portata è costante nel condotto, il prodotto  $Sv$  deve avere sempre lo stesso valore, per cui ad un aumento di sezione deve corrispondere una diminuzione di velocità e inversamente dove la sezione si restringe la velocità aumenta.

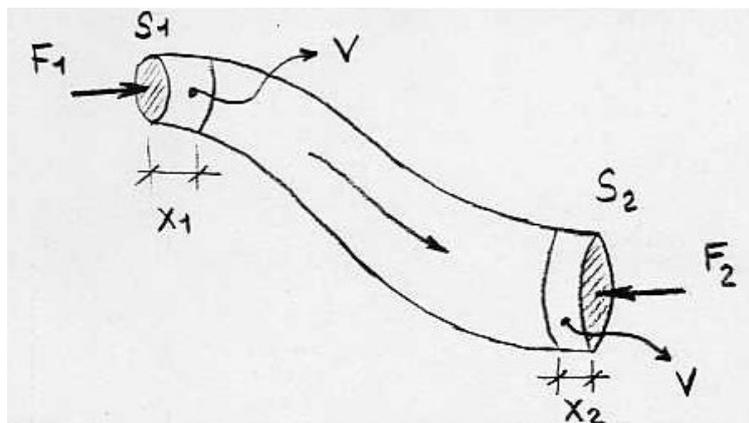


### 2.3.1 La legge di Bernoulli e le sue applicazioni

Consideriamo un fluido ideale, cioè incompressibile e privo di attrito interno, in moto stazionario lungo un condotto.

Se  $S_1$  ed  $S_2$  sono due sezioni qualsiasi, ad altezze  $h_1$  ed  $h_2$  da un piano orizzontale di riferimento in cui  $p_1$  e  $p_2$  sono le pressioni e  $v_1$  e  $v_2$  sono le corrispondenti velocità delle particelle di fluido, sussiste la seguente legge:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$



In cui  $d$  è la densità del fluido. Poiché la relazione precedente è valida qualunque siano le sezioni, possiamo affermare che la somma:

$$p + \frac{1}{2}dv^2 + dgh$$

assume sempre lo stesso valore qualunque sia la sezione (**LEGGE DI BERNOULLI**).

OSSERVAZIONE: Ad questa legge si perviene uguagliando il lavoro delle forze agenti alla variazione di energia cinetica subita dalla massa di fluido che attraversa due qualsiasi sezioni in un certo intervallo di tempo.

Vogliamo esaminare alcune **conseguenze e applicazioni tecniche della legge di Bernoulli**, osservando anzitutto che per il moto di un fluido lungo un condotto orizzontale può essere trascurata l'altezza.

Possiamo perciò scrivere la legge di Bernoulli nelle forme seguenti:

$$p + \frac{1}{2}dv^2 + dgh = \text{costante} \text{ per condotti obliqui};$$

$$p + \frac{1}{2}dv^2 = \text{costante} \text{ per condotti orizzontali.}$$

### **2.3.2 Attrito interno nei liquidi in moto**

Finora abbiamo trascurato nel moto dei fluidi l'attrito interno. In realtà nei fluidi si manifestano delle forze di attrito che ostacolano lo scorrimento di uno strato sull'altro.

Mentre in alcuni liquidi, come l'acqua, e nei gas l'attrito interno è piuttosto piccolo tanto che, almeno in alcuni casi, può essere con buona approssimazione trascurato, in altri liquidi, come la glicerina e il miele liquido, è tutt'altro che trascurabile.

Esaminiamo gli effetti dell'attrito interno su un liquido in moto in un condotto orizzontale. Se la sezione del condotto è costante, anche la velocità si mantiene costante lungo il condotto. Per il teorema di Bernoulli dovrebbe essere:

$$p + \frac{1}{2}dv^2 = \text{costante}$$

Cioè anche la pressione dovrebbe essere costante. L'esperienza invece dimostra che il liquido, in una serie di tubi manometrici (misurano la pressione) applicati lungo il condotto, raggiunge altezze via via decrescenti nel verso del moto. Se i tubi sono equidistanti, la diminuzione di altezza tra un tubo e il successivo è costante. Deduciamo così che la pressione del liquido lungo un condotto subisce una diminuzione nel verso del moto, denominata **perdita di carico**, dovuta alle forze di attrito interno.

Una prima conseguenza dell'esistenza della perdita di carico è che per mantenere un liquido in moto in un condotto è necessario una differenza di pressione tra le estremità a monte e a

valle. La portata attraverso il condotto dipende dalla differenza di pressione oltre che dalla lunghezza e dalla sezione del condotto e dall'attrito interno.

In particolare, se il condotto è un cilindro orizzontale di raggio  $r$  e lunghezza  $h$  e il moto è piuttosto lento, si dimostra che la portata è espressa dalla **legge di Poiseuille**:

$$Q = \frac{\pi \Delta p r^4}{8 \eta l}$$

In cui  $\eta$  è un coefficiente dipendente dalla natura del liquido e chiamato **coefficiente di viscosità** o semplicemente **viscosità**.

Risoluzione del quesito iniziale:

Le ali degli aerei sono sagomate in modo che il percorso dell'aria che lambisce l'ala sia diverso sopra e sotto l'ala stessa: il profilo dell'ala è più lungo nella parte superiore che nella parte inferiore. Per passare sopra l'aria deve percorrere una distanza più lunga, quindi la sua velocità deve essere maggiore che sotto l'ala: in base al principio di Bernoulli a ciò corrisponde una pressione sulla superficie superiore dell'ala minore di quella che agisce sulla superficie inferiore dell'ala. Ne risulta una forza diretta verso l'alto che bilancia la forza di gravità che agisce sull'aereo, diretta verso il basso.

## PROVA DI LABORATORIO

Nota didattica: Viene qui di seguito proposta una possibile esperienza di laboratorio da effettuare parallelamente allo studio della statica dei liquidi. In particolare si vogliono sfruttare le proprietà dei liquidi per:

**Determinare la densità di solidi costituiti dallo stesso materiale ma aventi forma e dimensioni diverse.**

Esperimento: **Trova "l'intruso"**.

### Materiali

- Recipiente graduato di forma cilindrica.
- Tre campioni di piombo di dimensioni diverse, un campione di materiale diverso dal piombo.
- Bilancia.
- Tavole riportanti i valori di densità di vari materiali.

### Scopo dell'esperimento

Tra i campioni che hai sul tavolo ce ne sono tre di piombo e uno di materiale diverso.

Trovare il campione di materiale diverso e determinare di che materiale è fatto andando a confrontarlo con le tavole di densità.

### Esecuzione

- 1) Riempi il recipiente cilindrico con acqua.
- 2) Immergi uno alla volta i tre cubetti.
- 3) Misura di quanto è aumentato il livello dell'acqua determinando così il volume del solido.
- 4) Attraverso la bilancia determina la massa di ciascun campione.
- 5) Determina la densità di ciascun campione.
- 6) Riporta i dati ottenuti nella tabella seguente.
- 7) Riporta qual è il campione non di piombo e scrivi di che materiale è composto.

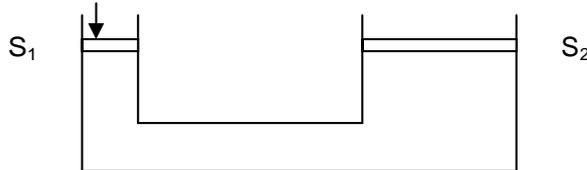
## Verifica sommativa

1. È vero che, appoggiando un mattone sulla neve appena caduta, questo affonda in modo diverso a seconda della faccia su cui appoggia, malgrado il suo peso sia sempre lo stesso? **(3 punti)**
- No, dato che, appunto, il peso del mattone è sempre lo stesso.
  - No, perché la superficie di appoggio sostiene il mattone comunque, indipendentemente e dalla sua estensione.
  - No, perché l'attrito offerto dalla superficie di appoggio quando il mattone affonda è lo stesso qualunque sia l'estensione di tale superficie.
  - Sì, perché la pressione esercitata dal mattone sulla superficie di appoggio dipende dall'estensione di questa.

2. Un cubo di metallo ha lo spigolo lungo 28 cm e ha massa 95 Kg. Quale pressione esercita sul tavolo sul quale è poggiato? **(4 punti)**

3. Il corpo A ha densità maggiore del corpo B, quindi: **(3 punti)**
- se A e B hanno lo stesso volume, A è più pesante di B.
  - il corpo A ha una massa maggiore del corpo B.
  - il corpo A ha una massa minore del corpo B.
  - nessuno dei completamenti precedenti è corretto.

4. Due cilindri di diversa sezione sono comunicanti tramite un condotto orizzontale. Essi sono pieni di acqua e muniti di due stantuffi, uno di superficie  $S_1$  e l'altro di superficie  $S_2$ , con  $S_1 < S_2$ . Sulla superficie  $S_1$  viene esercitata una forza  $F_1$ . Quale forza viene a determinarsi sulla superficie  $S_2$ ? **(4 punti)**



- La stessa forza (per il principio di Pascal);
  - Una forza di modulo  $F_2 = F_1/S_1$ ;
  - Una forza di modulo  $F_2 = F_1 S_1/S_2$ ;
  - Una forza di modulo  $F_2 = F_1 S_2/S_1$ .
5. Determina la forza necessaria per sollevare una Renault Clio 1.8 RSI, di 1800 cc, di peso circa 12 000 N sapendo che le due sezioni dei cilindri sono:  $S_1 = 0.10 \text{ m}^2$  e  $S_2 = 14 \text{ m}^2$ . **(4 punti)**
7. La pressione esercitata da una colonna di liquido è proporzionale: **(2 punti)**
- alla massa del liquido.
  - all'altezza del liquido.
  - alla forma della colonna.
  - nessuno dei completamenti precedenti è corretto.

6. Un recipiente alto 80 cm è completamente pieno d'acqua. A diverse profondità ( $1/2$  dell'altezza e  $3/4$  dell'altezza) sono stati fatti due fori (rispettivamente A e B).

- Qual è la pressione che si esercita sul fondo? **(2 punti)**
- Quale quella che si esercita in A? **(3 punti)**
- Quale quella che si esercita in B? **(4 punti)**

N.B. La densità dell'acqua è  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

7. Quale tra le seguenti affermazioni relative al principio di Archimede è errata? **(3 punti)**
- La spinta di Archimede è direttamente proporzionale al volume del corpo immerso
  - La spinta di Archimede è direttamente proporzionale all'accelerazione di gravità

- c) La spinta di Archimede è direttamente proporzionale alla profondità in cui si trova il corpo
- d) La spinta di Archimede è direttamente proporzionale alla massa del volume di fluido spostato
8. La densità del mercurio e del piombo sono rispettivamente  $13.6 \text{ g/cm}^3$  e  $11.3 \text{ g/cm}^3$ . Se si mette un cubetto di piombo dentro un bicchiere pieno di mercurio: **(4 punti)**
- a) Il cubetto affonda.
- b) Il cubetto galleggia.
- c) Il cubetto rimane nella posizione in cui viene posto.
- d) Il cubetto prima galleggia e poi lentamente affonda.
9. Un cubetto di lato  $3 \text{ cm}$  è immerso nel mercurio (densità  $1.36 \cdot 10^4 \text{ Kg/m}^3$ ). Quanto vale la spinta di Archimede ricevuta dal cubetto? **(4 punti)**
10. Una sfera di ferro di massa  $15.6 \text{ kg}$  è attaccata a un dinamometro. Quanto segna il dinamometro se la sfera è immersa in acqua?  
N.B. La densità del ferro è  $7800 \text{ kg/m}^3$  e quella dell'acqua è  $1000 \text{ kg/m}^3$ . **(5 punti)**
11. In un condotto orizzontale la portata è  $Q=1.5 \text{ m}^3/\text{min}$ . Si determini la velocità del fluido in punti in cui il diametro del tubo è  $12.0 \text{ cm}$ . **(7 punti)**
12. Un serbatoio contenente un liquido ha un piccolo foro ad una profondità  $\Delta h$  rispetto alla superficie superiore del liquido. Si determini la velocità con cui il liquido esce dal foro. **(8 punti)**

GRIGLIA DI VALUTAZIONE

Punteggio grezzo (tot.60)	Voto in decimi	Proposta di voto
1 - 6	0 - 1	<b>3</b>
7 - 12	1 - 2	<b>3</b>
13 - 18	2 - 3	<b>3</b>
19 - 24	3 - 4	<b>4</b>
25 - 30	4 - 5	<b>5</b>
31 - 36	5 - 6	<b>6</b>
37 - 42	6 - 7	<b>7</b>
43 - 48	7 - 8	<b>8</b>
49 - 54	8 - 9	<b>9</b>
55 - 60	9 - 10	<b>10</b>

## **Bibliografia:**

### ➤ TESTI SCOLASTICI

Mario Cantelli FISICA Realtà e modelli; CEDAM;

K. Wheeler Il mondo della natura-II punto di vista della FISICA; Mondadori;

A. Caforio-A. Ferilli PHYSICA; Le Monnier;

Arnold B. Arons: Guida all'insegnamento della fisica, Zanichelli

Dispense del corso di didattica della fisica

Quaderno progetti didattici: la fisica nelle attrazioni

### ➤ Siti internet:

<http://digilander.libero.it/lucianopirri/>

<http://www.matematicamente.it/fisica/index.htm>

<http://web.uniud.it/CIRD/esp/esp/docente/cin.htm>

<http://www.fisicachimica.it/esperimenti.html>

<http://www.dmf.unicatt.it/~dalfovo/fisica-in-rete/>

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.