

Lezioni in [http://www.fisgeo.unipg.it/~fiandrin/didattica\\_fisica/did\\_fis1718/](http://www.fisgeo.unipg.it/~fiandrin/didattica_fisica/did_fis1718/)

## Lez 10 24/10/17

### Fisica Sperimentale e Applicazioni Didattiche

# Fonti Energetiche.

## Rinnovabili o non Rinnovabili ?

Con il termine energie **RINNOVABILI** si intendono le forme di energia prodotte da fonti di energia che per loro caratteristica intrinseca si rigenerano almeno alla stessa velocità con cui vengono consumate o non sono "esauribili" nella scala dei tempi "umani" .

### Fonti **RINNOVABILI**

Bacini montani

Sole

Vento

Calore della Terra

Maree

-----

### Fonti **NON RINNOVABILI**

Gas naturale

Petrolio

Carbone

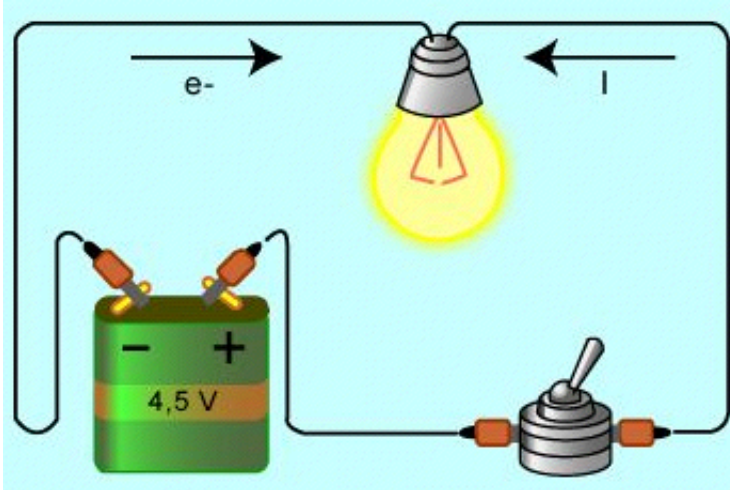
Isotopi dell' uranio

-----

Si chiamano **ALTERNATIVE** tutte quelle forme di energia “ alternative” alle tradizionali forme di energia derivanti da fonti fossili (petrolio, carbone, gas etc. )

# Energia Elettrica

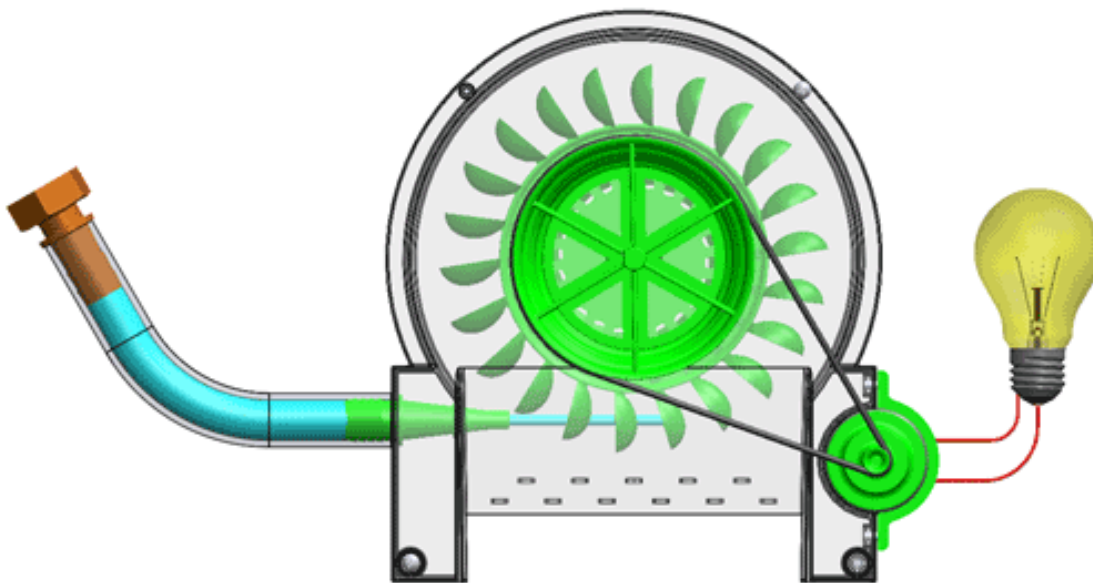
È associata alla **forza** che si esercita tra corpi carichi. Nell'attrarsi ( o respingersi) le cariche accelerano, acquistando **energia cinetica**



In un circuito elettrico le **cariche** si muovono da un capo all'altro formando la **corrente elettrica**

# Come si trasforma l'energia cinetica in energia meccanica ?

## Turbina

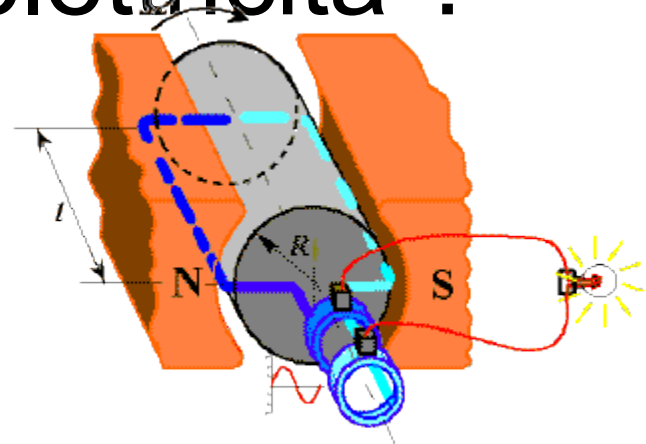
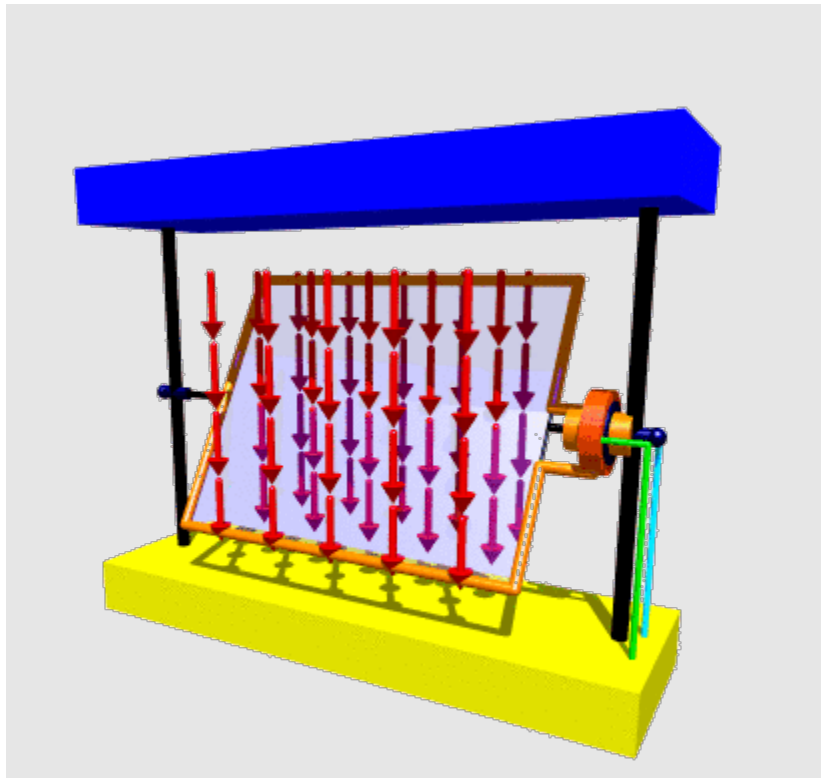


Una turbina è una macchina che converte l'energia cinetica e/o potenziale di un fluido, ad esempio acqua o vapore acqueo, e la trasforma in **energia meccanica**.

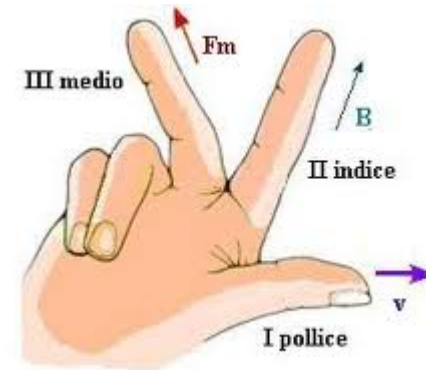


# Come si trasforma l'energia meccanica in elettricità ?

## Alternatore

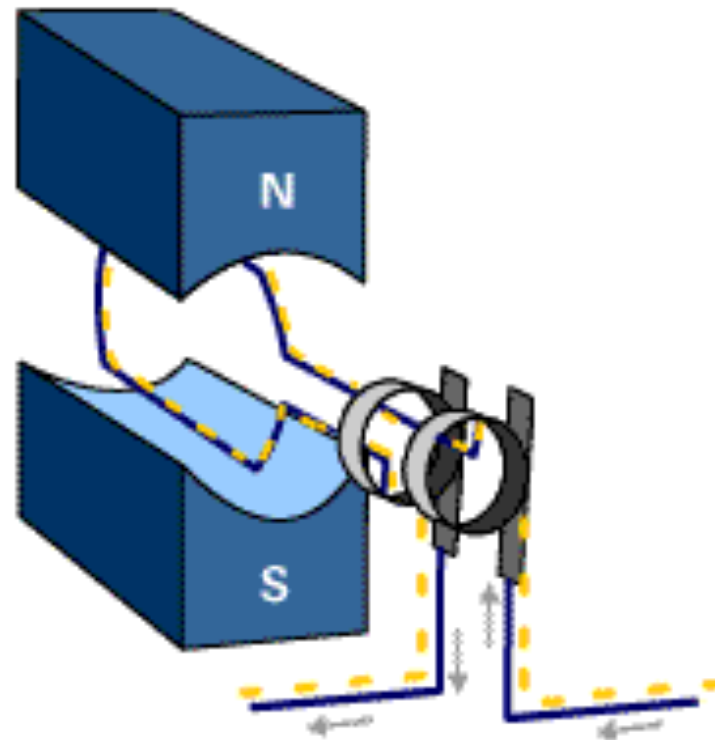


**Legge di Faraday-Neumann-Lenz**  
(Cfr. Elettromagnetismo)



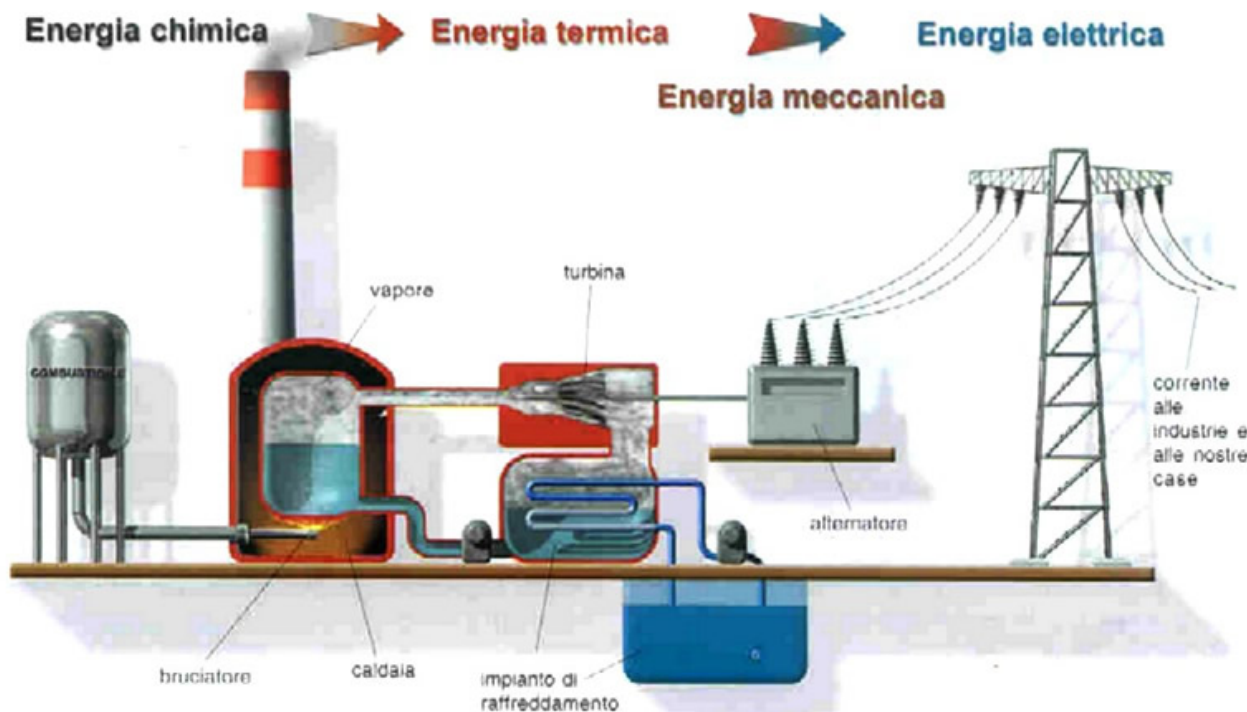
# Come si trasforma l'energia meccanica in elettricità ?

## Alternatore



# Centrale Termo – Elettrica

Una centrale trasforma l'energia termica generata dalla combustione in energia meccanica, che è poi trasformata in energia elettrica



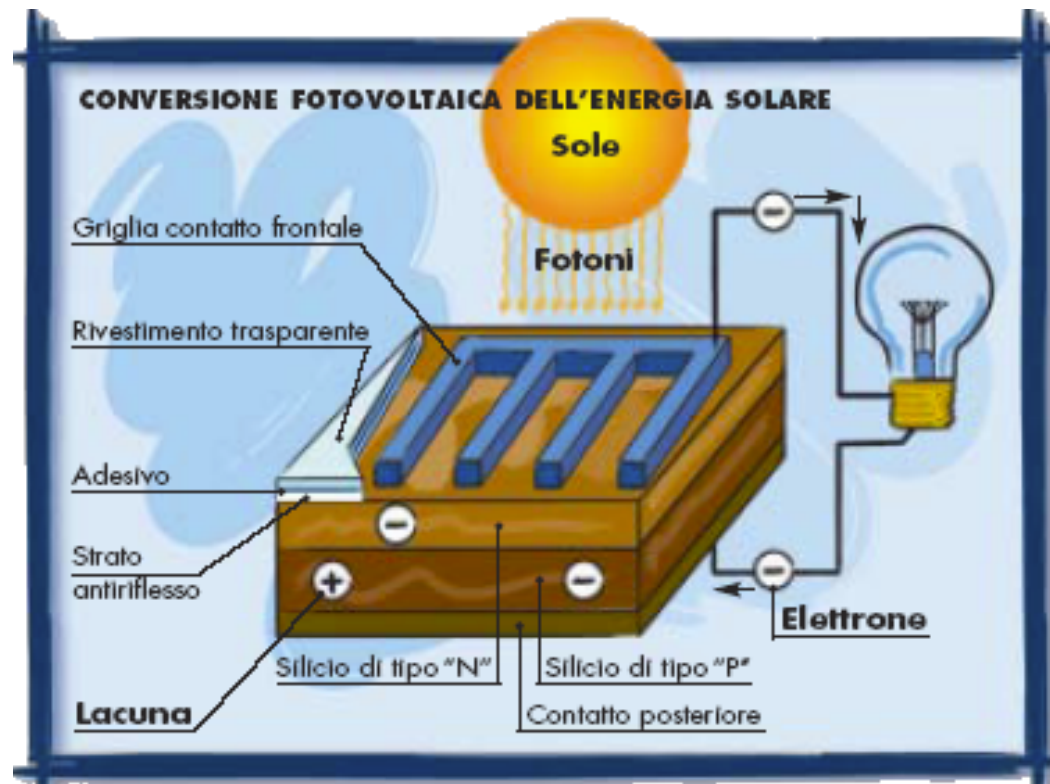
In Italia la componente termoelettrica rappresenta circa l'80% del totale

Si ottiene dalla combustione di **Gas, petrolio carbone ...**

# Elettricità da ...

## Il SOLE – Effetto Fotovoltaico

Le celle **fotovoltaiche** trasformano l' **energia solare** in **energia elettrica** usando materiali **semiconduttori**



# Il SOLE – Impianti fotovoltaici

## Esempi Applicativi



**Casa autosufficiente**

**Impianto fotovoltaico  
a terra**





# Energia Elettrica da ... Il Vento

**Germania in testa  
con 4000 MW**



**Italia al 5° posto  
con 280 MW**

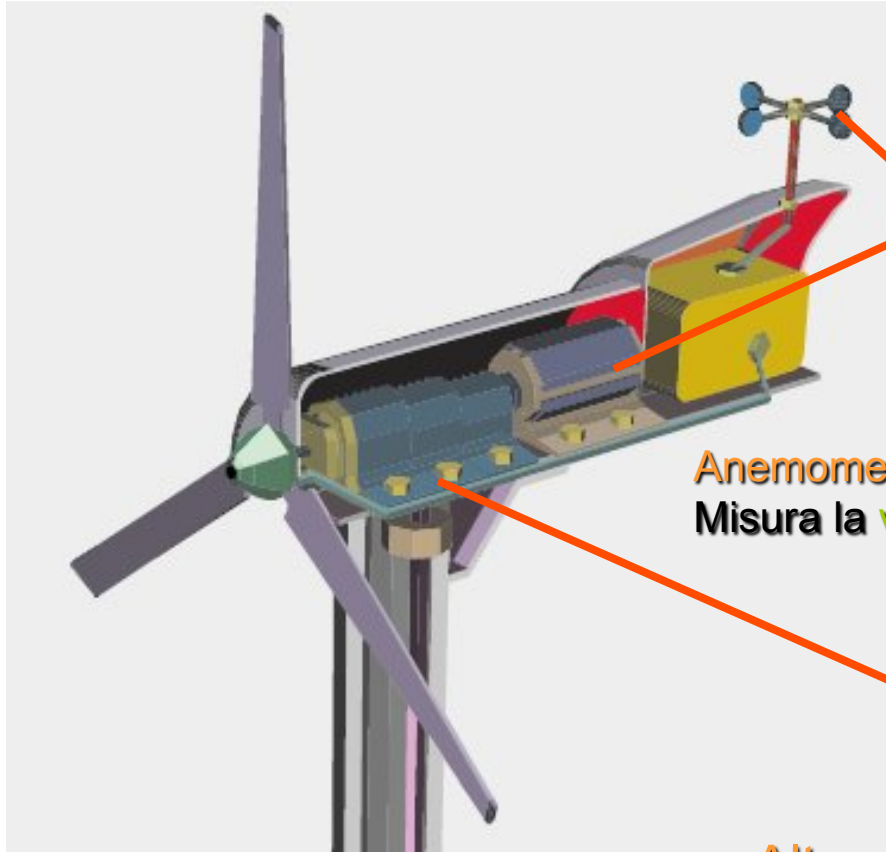
**La stessa produzione con  
una centrale a carbone  
emetterebbe nell'atmosfera  
22000 t di CO<sub>2</sub>,  
125 t di anidride solforosa  
43 t di ossido di azoto**

**Una fattoria del vento  
può produrre fino a 20  
milioni di kWh  
all'anno, sufficienti per  
7000 famiglie.**

# Aerogeneratore

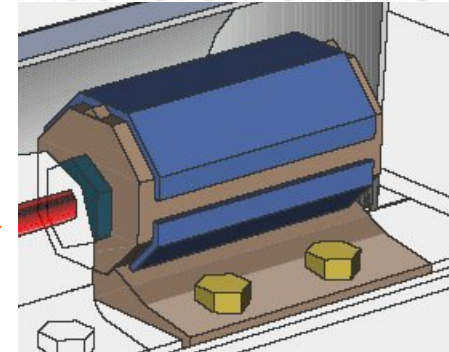
## Aerogeneratore

Funziona con un vento da 10 a 60 km/h  
Produce 500-600 kW



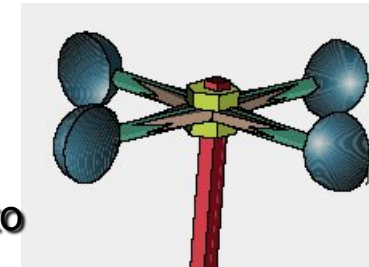
## Moltiplicatore:

Trasforma la rotazione lenta delle pale fino a 1500 giri/m per muovere l'alternatore



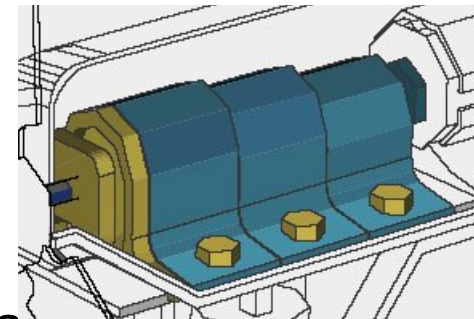
## Anemometro:

Misura la **velocità** del vento



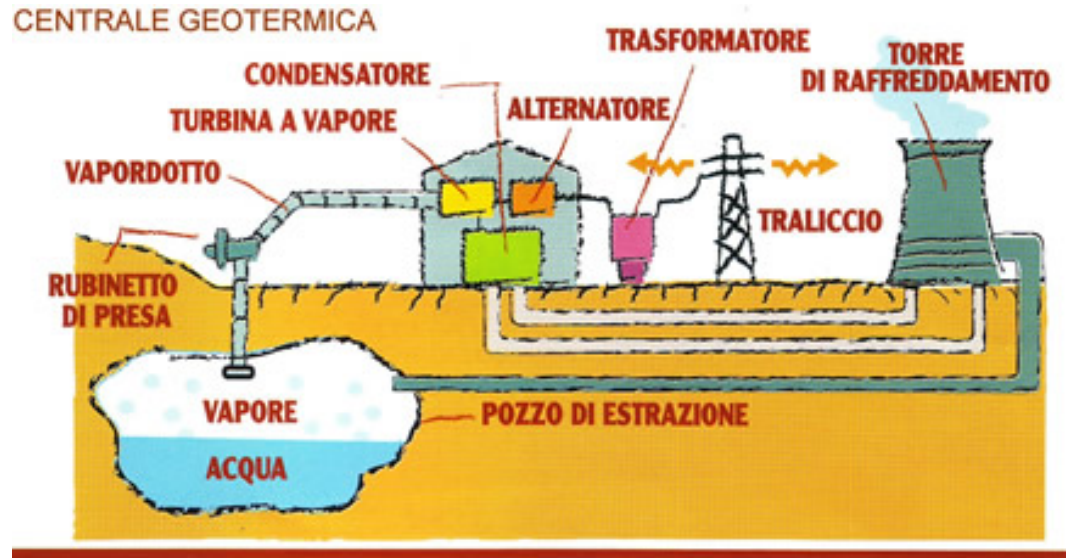
## Alternatore:

Converte energia **meccanica** in **elettrica**



# Energia elettrica da ...

## Calore della terra - Geotermia



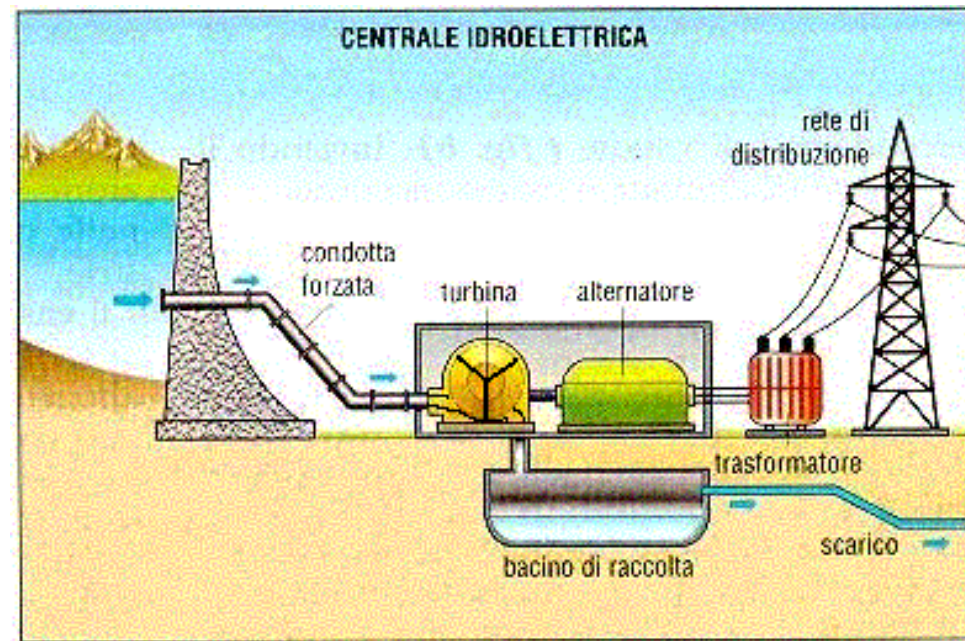
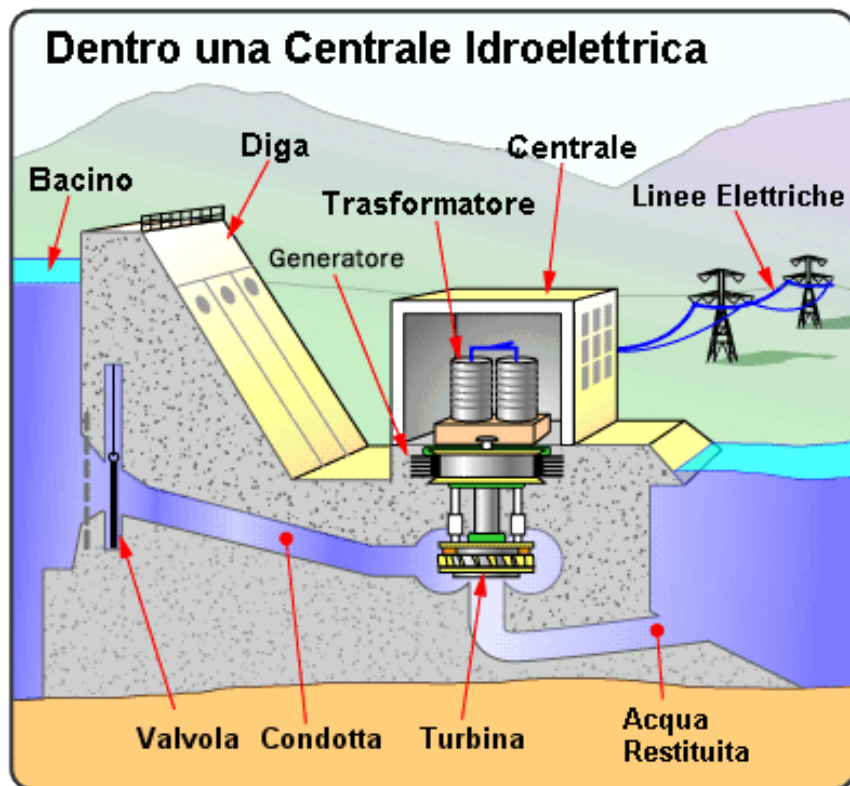
La risorsa geotermica è costituita da **acque sotterranee** che, a contatto con **rocce ad alte temperature**, si riscaldano.  
È sfruttata anche per **riscaldare case e serre**



# Energia Elettrica da ...

## Bacini montani – Centrale idroelettrica

**En. Potenziale >> En. Cinetica >> En. Elettrica**



# Energia Elettrica da ...

## Energia Chimica - Pila



La Pila di Volta

Walkman, orologi, cellulari, pace-maker, motori di avviamento di auto e motorini sono alimentati da pile o da accumulatori.

Forniscono **energia elettrica** a spese dell' **energia chimica**, attraverso **reazioni chimiche** che avvengono al loro interno

# Energia chimica nei sistemi biologici



**Tutti gli esseri viventi  
necessitano di energia  
per vivere.  
Essa proviene dal cibo**

# Energia chimica nel cibo

**Dovuta ai legami esistenti fra atomi e molecole che compongono alimenti, combustibili, esplosivi, e che sono detti legami chimici.**

## Energia chimica nel cibo

Frutta, verdura	Molto bassa
Latte	Bassa
Carne	Media
Cereali	Alta
Oli, grassi	Molto alta



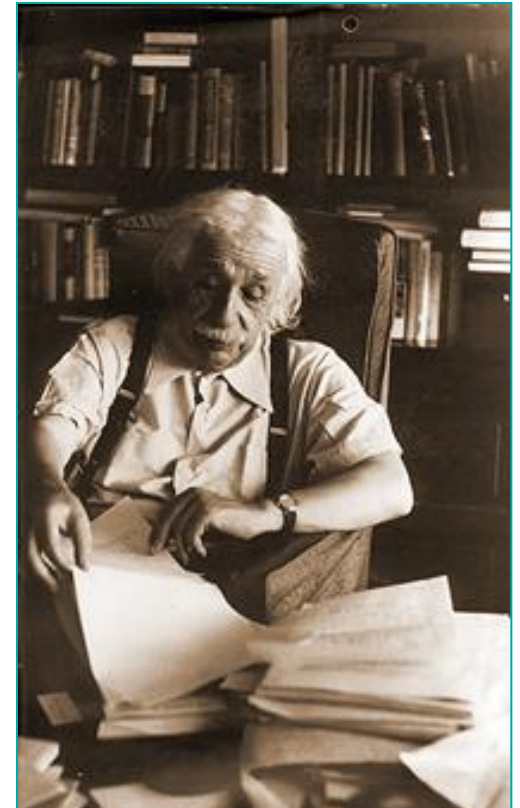
# Energia Elettrica da ...

## Energia Nucleare

Deriva dalla rottura e ricomposizione dei legami fra i protoni e i neutroni che formano i nuclei atomici.

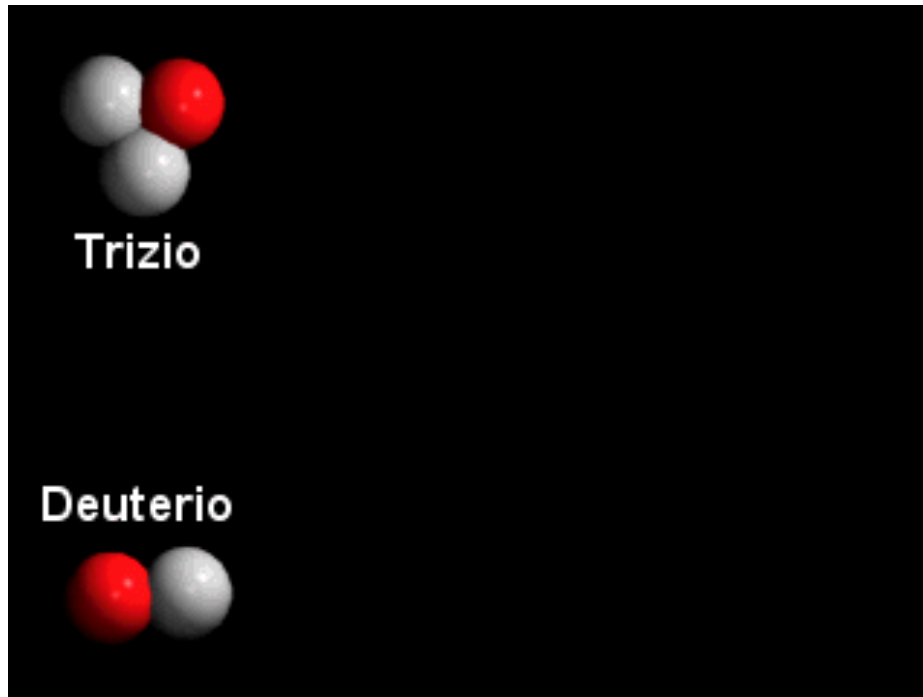
$$E = mc^2$$

La massa è  
una forma di energia



# Fusione Nucleare

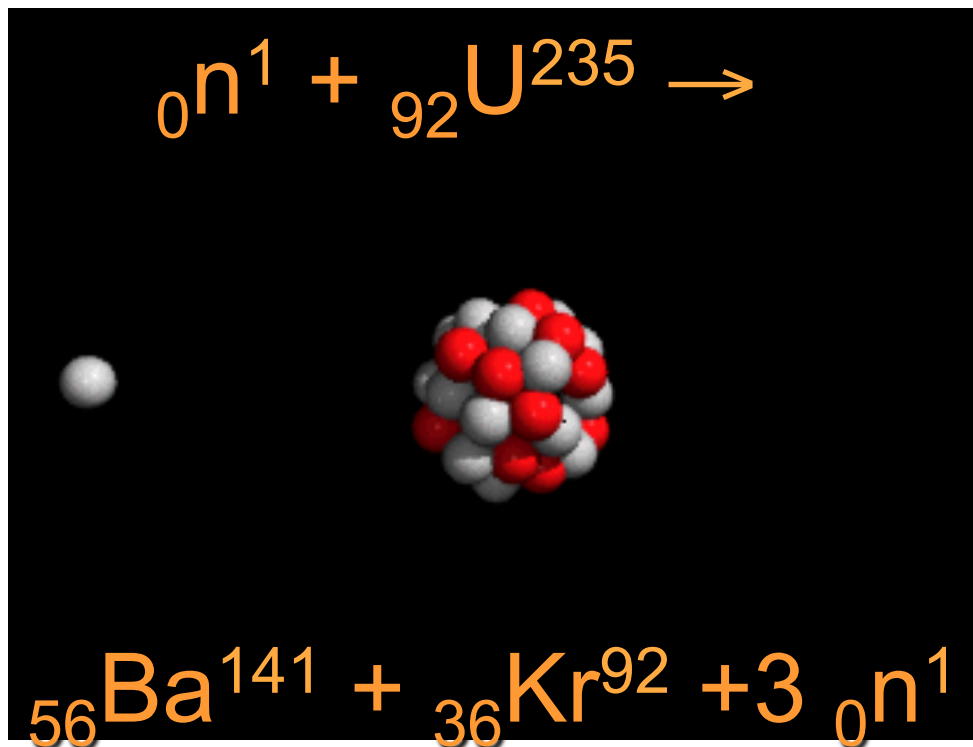
Le **stelle** sono i principali motori ad **energia nucleare**



Nel Sole, in ogni secondo, 560 milioni di tonnellate di idrogeno si trasformano in elio, liberando un'energia di  $3,8 \times 10^{23}$  kJoule

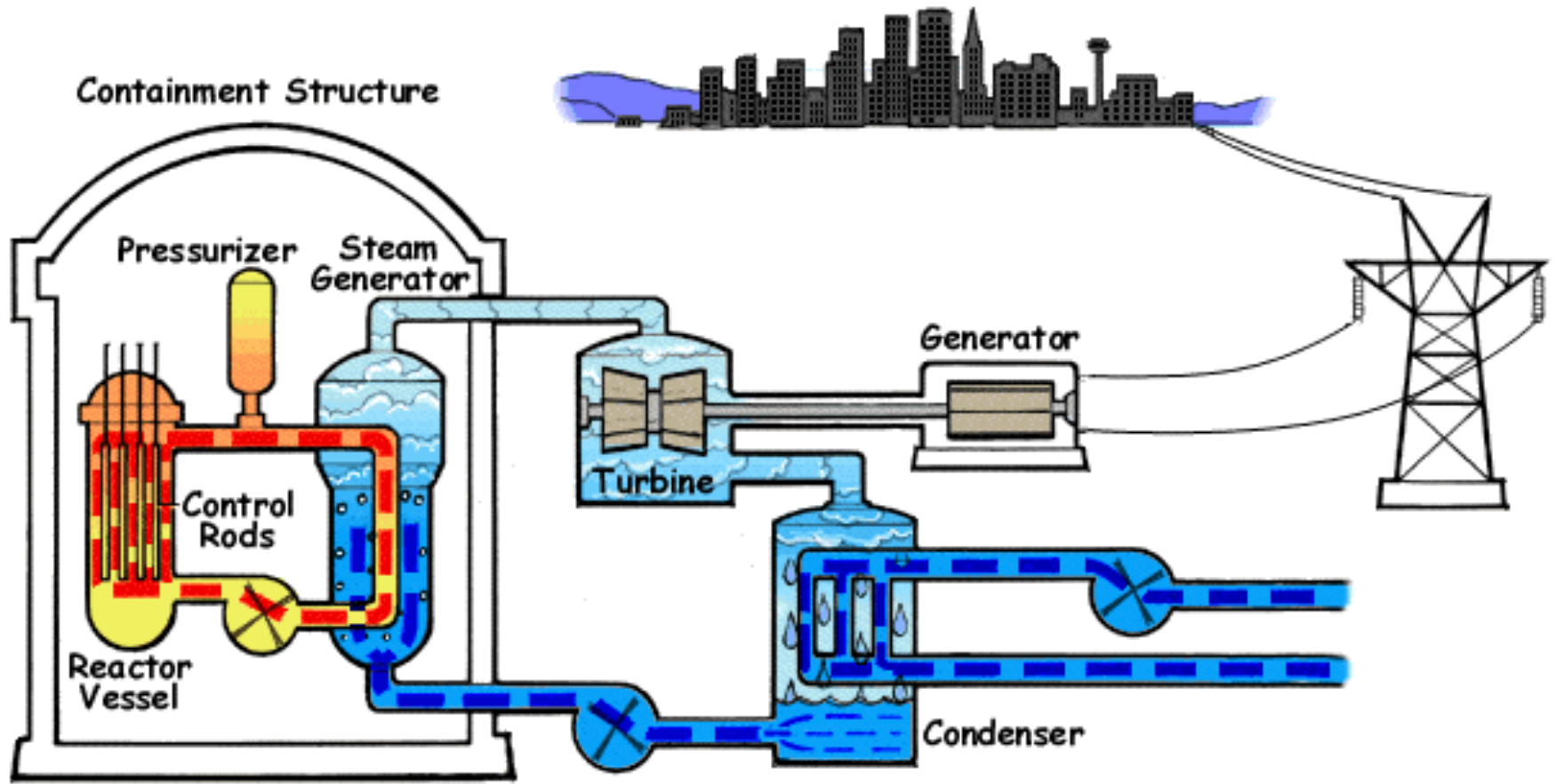
# Fissione Nucleare

Un **neutrone lento** urta un atomo di **uranio** e lo **spezza** in due nuclei di dimensioni circa uguali



La **fissione** di 1 grammo di **Uranio** fornisce energia come 2 ton. di **petrolio**

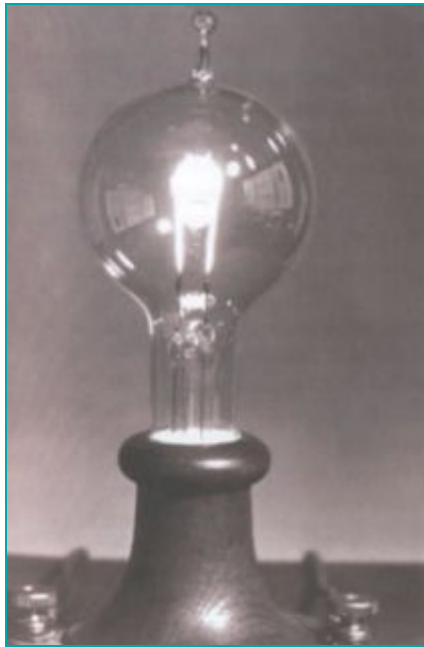
# Centrale Nucleare





# Consumi di Energia

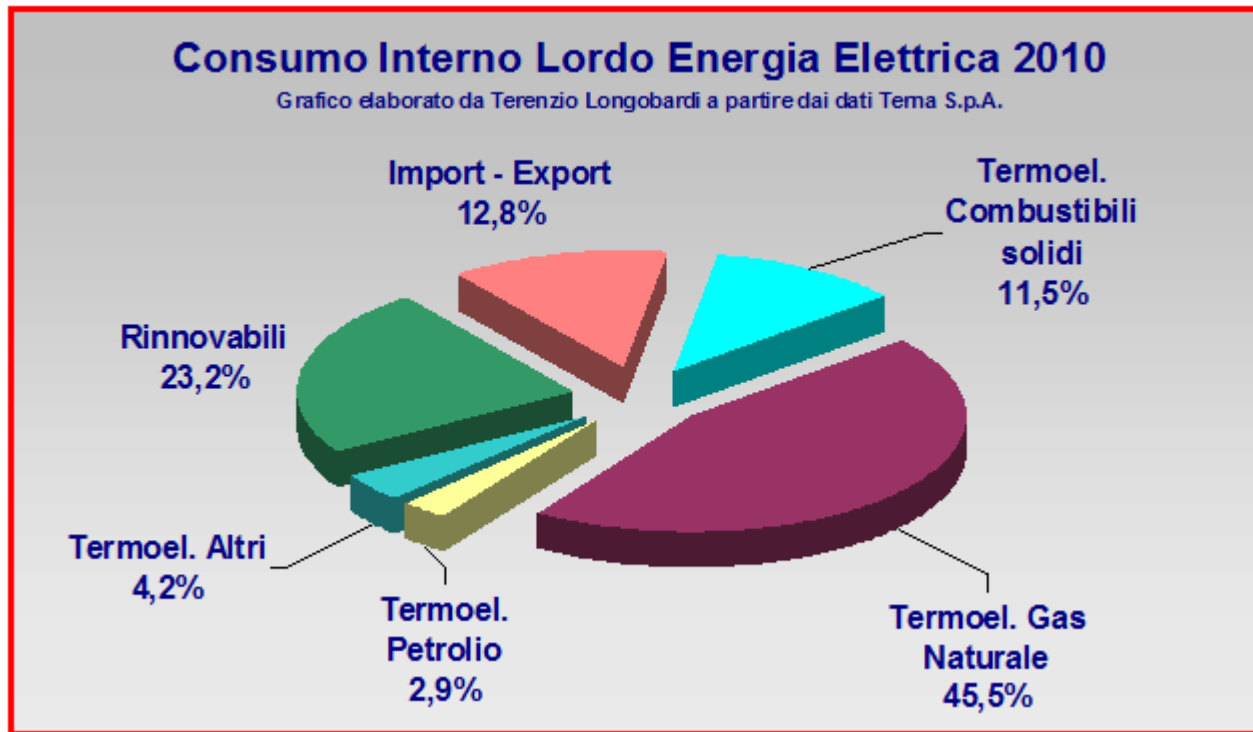
L'incremento nel consumo di energia elettrica fu dovuto all'invenzione della **lampadina** da parte di **Edison (1876)**



<b>Elettrodomestico</b>	<b>Potenza Media</b>
<b>Scaldabagno</b>	<b>1500 – 4000 watt</b>
<b>Lavatrice</b>	<b>300 – 800 watt</b>
<b>Frigorifero</b>	<b>200 – 500 watt</b>
<b>PC</b>	<b>20 – 200 watt</b>

**Lampada di Edison**

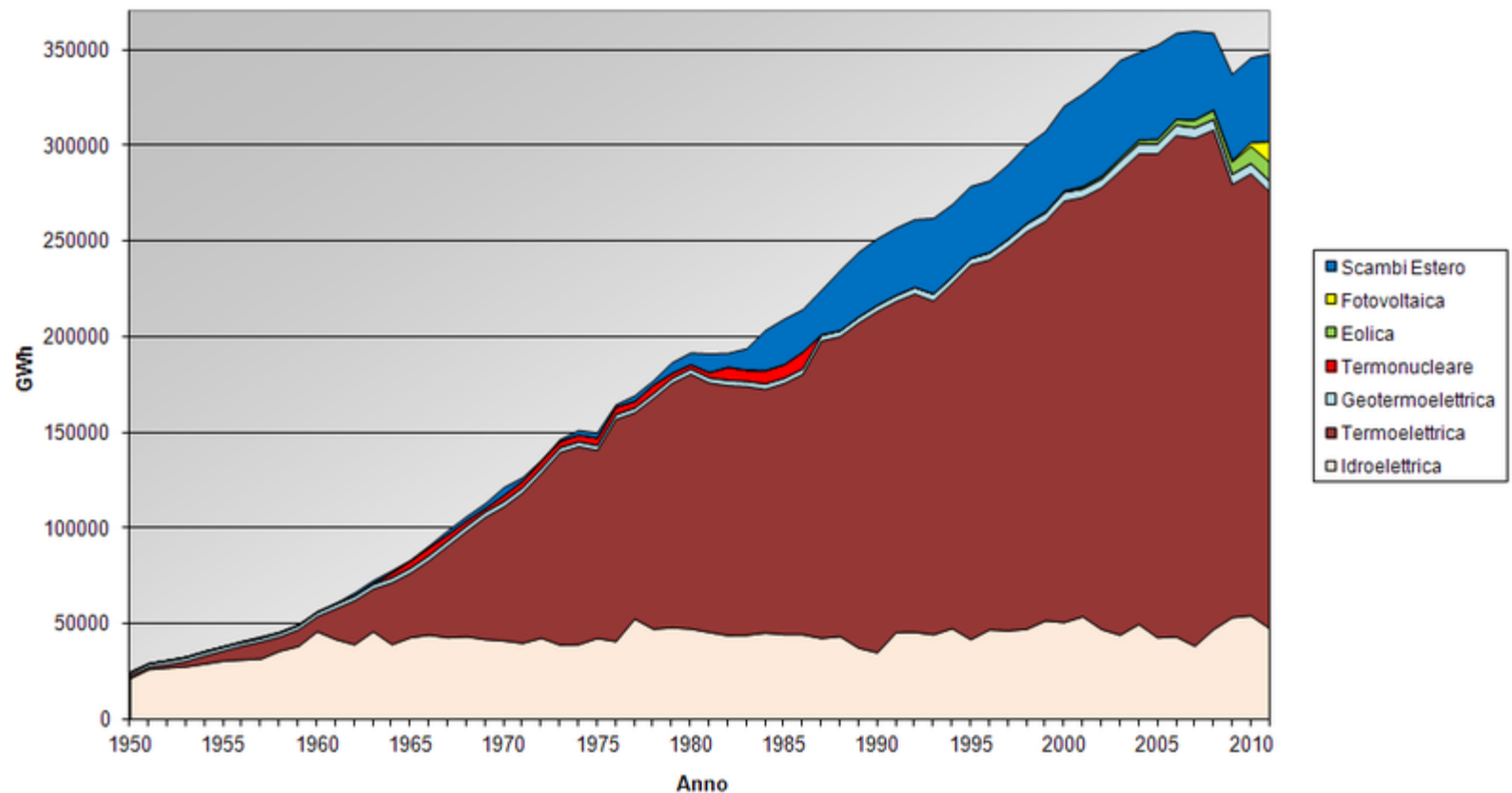
# Consumi di Energia in Italia - 2010



# Produzione Energia

## riepilogo storico

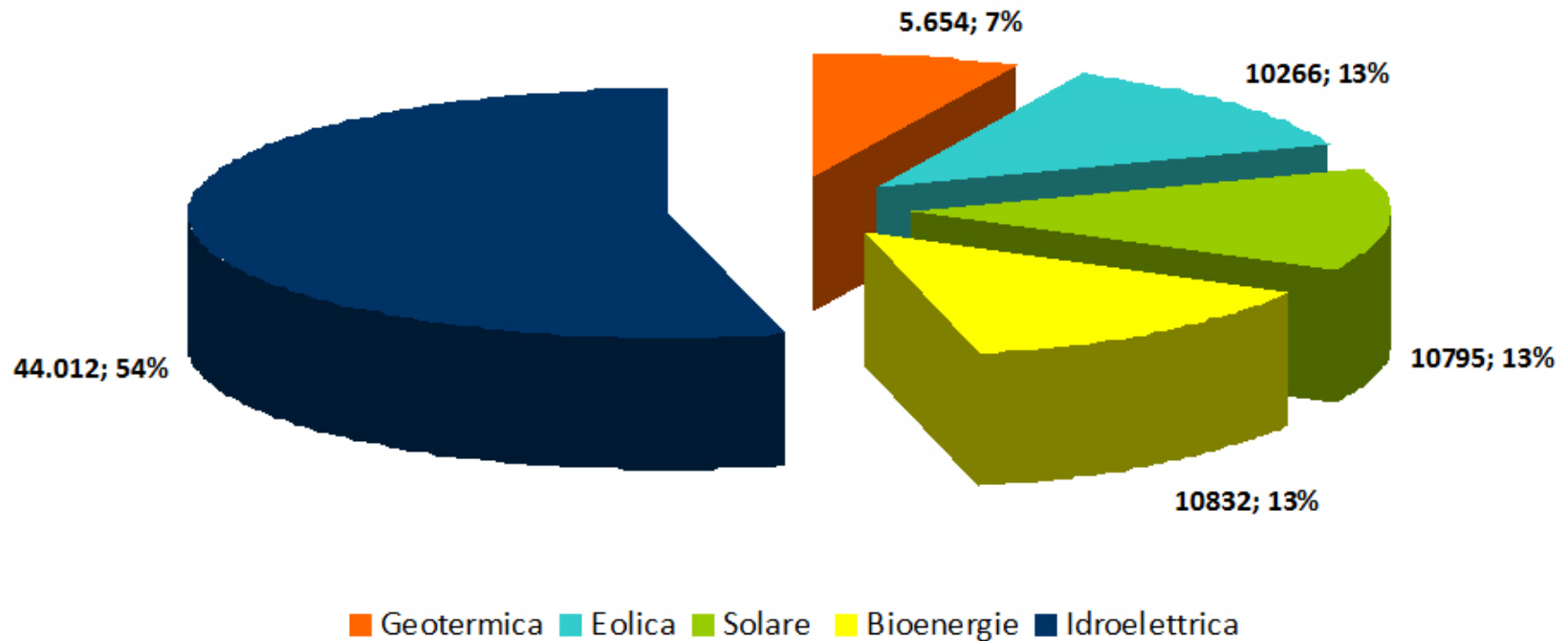
Riepilogo Storico della Produzione di Energia in Italia



# Produzione di Energia

## Energie rinnovabili

**PRODUZIONE RINNOVABILE IN ITALIA NEL 2011**  
(dati in GWh e percentuale)



# La Co2 e le fonti di energia

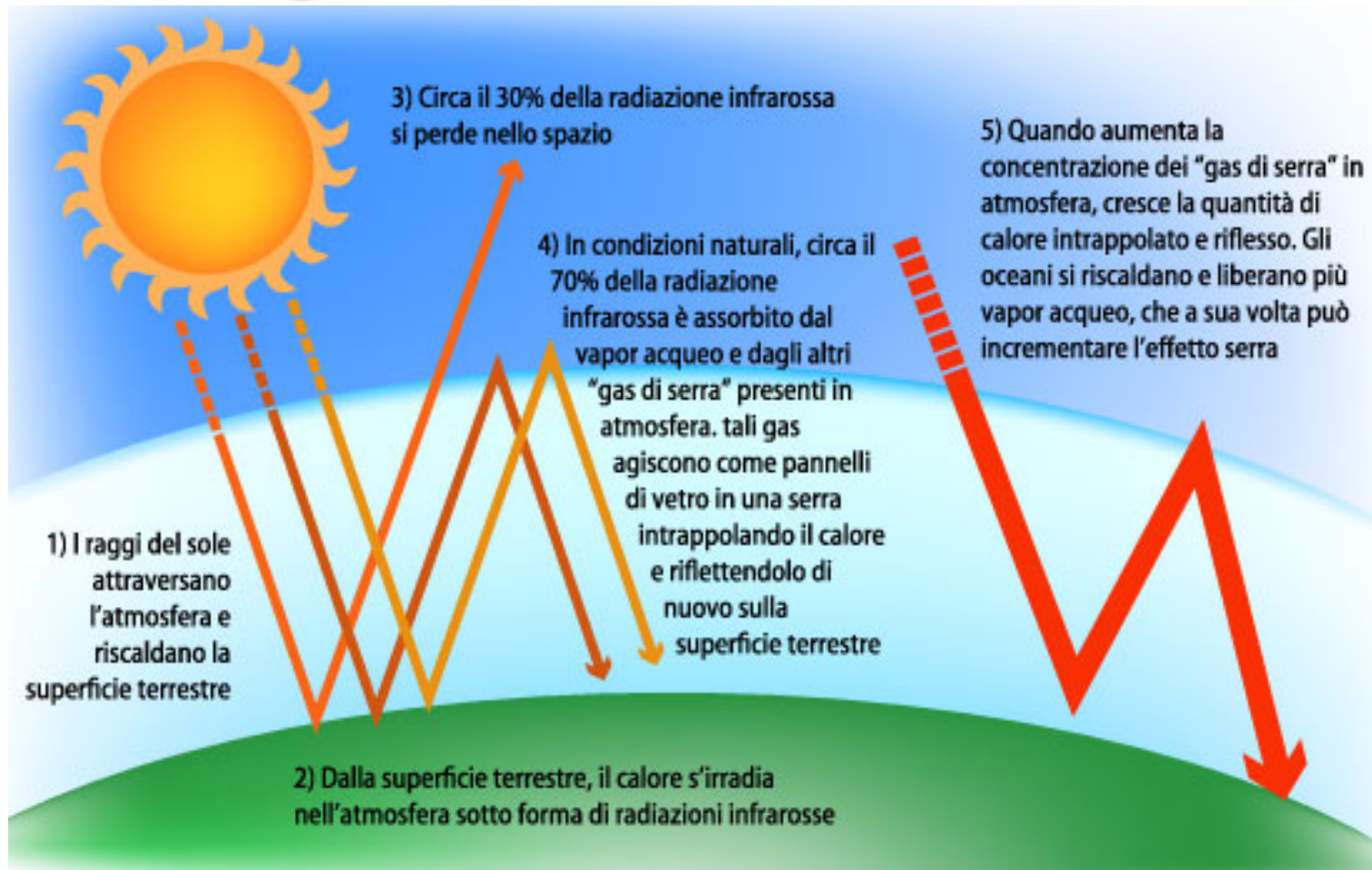
– Giuseppe Bianchi – dati 2006

<http://www.museoenergia.it/museo.php?stanza=85&ppost=355>

indice SEI (Specific Energy Impact) è riferito alle emissioni di CO2 per unità di energia generata e calcolato in Kg di CO2 per KWh elettrico prodotto

Fonte	SEI
<i>nucleare</i>	0,011
<i>idraulico</i>	0,013
<i>eolico</i>	0,014
<i>solare termodinamico</i>	0,044
<i>fotovoltaico</i>	0,209
<i>gas (cicli combinati)</i>	0,296
<i>petrolio (cicli vapore)</i>	0,654
<i>carbone</i>	0,739
<i>biomasse (combustione)</i>	0,952

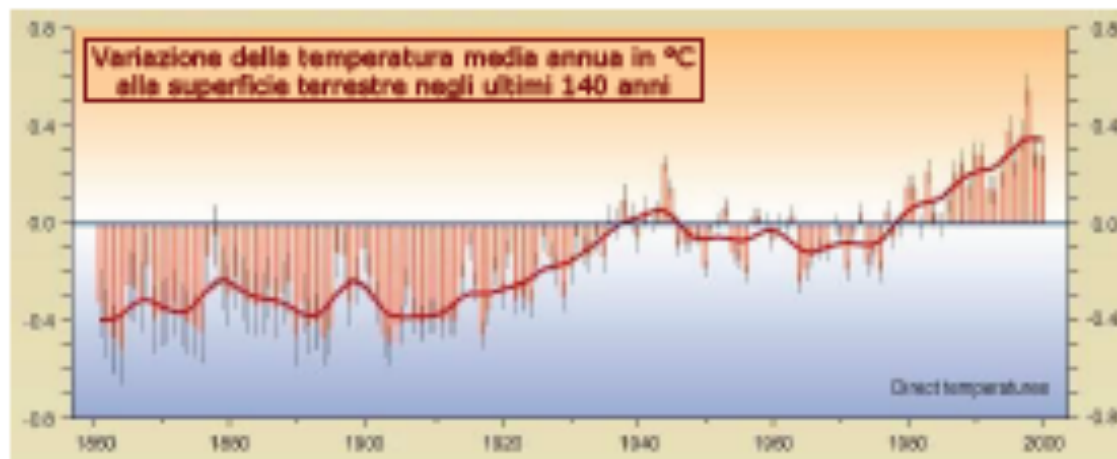
# Gli effetti della produzione Energetica – Effetto Serra



# Effetto Serra

## AUMENTO DELLE TEMPERATURE DEL PIANETA

L' IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'agenzia dell'ONU che si occupa dei cambiamenti climatici, prevede che le temperature medie della terra si alzeranno da 1,4 a 6,2 °C entro il 2100, a seconda delle politiche energetiche che verranno intraprese. Le conseguenze di questo aumento della temperatura sarebbero catastrofiche a vari livelli.



Dati tratti da IPCC, Climate change 2001 - Synthesis report



# Effetto Serra conseguenze

## **PARZIALE SCIOGLIMENTO DEI GHIACCIAI E INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEI MARI (di 15-95 centimetri)**

Regioni come la Florida, la Louisiana, la zona costiera giapponese o il Delta del Po, Paesi come il Bangladesh o l'Egitto, arcipelaghi come le Isole Marshall, città come Atene, Boston, Tokyo, Nuova Delhi, Amsterdam, Londra, Leningrado, Venezia o Trieste potrebbero venire parzialmente sommerse.



[www.rffugioneella.com/immagini.htm](http://www.rffugioneella.com/immagini.htm)



# Effetto Serra conseguenze

## ALTERAZIONI CLIMATICHE

**Aumento del rischio di desertificazione** - I periodi di siccità si moltiplicherebbero e vaste aree intensamente coltivate che oggi forniscono grano e cibo a tutto il mondo potrebbero diventare zone aride non adatte all'agricoltura. Inoltre si assisterebbe alla crescente tropicalizzazione di mari "temperati" come il Mediterraneo, dove la fauna e la flora autoctone verrebbero progressivamente soppiantate da specie provenienti dai mari del sud.

**Aumento di frequenza e intensità di eventi climatici estremi** - alluvioni, inondazioni, cicloni tropicali.



asora.neelone.clemente.it/informazione/monografia/index.php

# Effetto Serra

## conseguenze

### **DISTRUZIONE DELLE SPECIE ANIMALI**

La febbre del pianeta accelererebbe l'estinzione di migliaia di specie animali e vegetali, non più in grado di sopravvivere nelle mutate condizioni climatiche. Tra le specie più a rischio orsi polari e pinguini, salmoni e trichechi, foche e tigri, e poi ambienti già oggi fortemente minacciati come le barriere coralline.



[www.natureimages.co.uk/image\\_index.htm](http://www.natureimages.co.uk/image_index.htm)

### **EFFETTI SANITARI**

Quanto più crescerà la temperatura sulla Terra, tanto più aumenterà anche l'incidenza e la diffusione di malattie tropicali. Secondo alcune stime, per esempio, se non verrà fermato l'effetto serra la parte della superficie terrestre a rischio-malaria passerà dal 45% al 60%.

# **La più grande fonte di energia pulita**

## **II RISPARMIO ENERGETICO**

### **Dell' energia Elettrica**

- **Utilizzo consapevole dei dispositivi**
- **Elettrodomestici ad alta efficienza**
- **Lotta allo Stand-by**

# **La più grande fonte di energia pulita**

## **II RISPARMIO ENERGETICO**

**Per produrre calore**

- Evitare se possibile scaldabagni e stufe elettriche**
- Utilizzare con accortezza frigo e condiz.**
- Alta efficienza dispositivi**
- Isolamento termico delle abitazioni**

# II RISPARMIO ENERGETICO

## Dispositivi più efficienti

<i>Elettrodomestico</i>	<i>Classe</i>	<i>Costo elettricità euro/anno</i>	<i>Classe</i>	<i>Costo elettricità euro/anno</i>
Frigorifero	C	92	A++	Inferiore a 34
Lavatrici	C	58	AAA	Inferiore a 40
Lavastoviglie	C	54	A	Inferiore a 42
Forno elettrico	C	24	A	Inferiore a 14
Condizionatori	C	180	A	Inferiore a 160

**Fonte Enea**

# Fluidi



- I fluidi sono una particolare categoria di sistemi per i quali è necessario sviluppare delle considerazioni particolari.
- Innanzi tutto sono sistemi CONTINUI: possono essere scomposti in un numero arbitrario di parti, piccole a piacere (infinitesime)
- Sono classificabili come fluidi i liquidi ed i gas. La distinzione fra queste due categorie non è netta poichè si passa con continuità dall'uno all'altro.
- La distinzione viene quindi fatta in modo chiaro solo fra solidi e fluidi.
- Convenzionalmente si dice che i sistemi solidi sono definiti da una forma fissa.
- Andrebbe precisato anche *per quanto tempo*. Esistono infatti sistemi apparentemente solidi che non lo sono strettamente: la loro forma varia su una scala temporale molto lunga (mesi, anni, secoli ed oltre). Essi sono detti vetri. Hanno un comportamento vetroso anche materiali come i polimeri e molti altri.

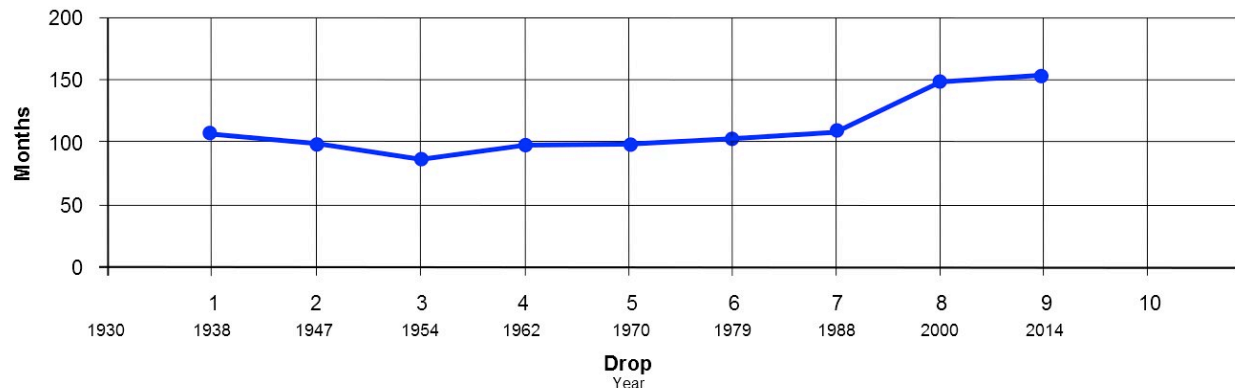
# Esperimento della goccia di pece



La più famosa versione di questo esperimento fu iniziata nel 1927 dal professor Thomas Parnell dell'università del Queensland di Brisbane, in Australia, per dimostrare ai suoi studenti che alcune sostanze che appaiono solide sono, in realtà, fluidi altamente viscosi. Parnell versò un campione riscaldato di pece in un imbuto sigillato e lo lasciò sedimentare per tre anni. Nel 1930 aprì il fondo dell'imbuto, permettendo alla pece di scendere all'interno di un bicchiere posto al di sotto.

La caduta dell'ottava goccia, il 28 novembre 2000, permise agli sperimentatori di calcolare che la pece ha una viscosità circa 230 miliardi di volte ( $2,3 \times 10^{11}$ ) maggiore rispetto a quella dell'acqua.

**Months between drops**



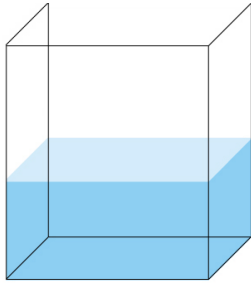


# Cosa sono i Fluidi?

- **Definizione Intuitiva:** I Fluidi sono sostanze non aventi forma propria
  - Liquidi: fluidi dotati di volume proprio
  - Aeriformi: fluidi non dotati di volume proprio, cioè tendono a occupare tutto il volume a disposizione
- Tale definizione ha problemi nel descrivere le gelatine
- **Definizione Corretta:** I Fluidi sono sostanze in cui, all'equilibrio, tutti gli sforzi interni (vedremo cosa sono) hanno direzione normale alle rispettive superfici (in una gelatina questo non succede)
  - Liquido: fluido dotato di bassissima compressibilità isoterma
  - Aeriforme: fluido dotato di elevata compressibilità isoterma

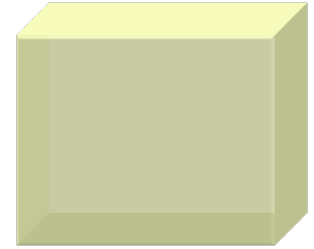


# FLUIDI



## LIQUIDI

- Assumono la forma del recipiente
- Hanno volume proprio
- Superficie limite
- Praticamente incompressibili



## GAS

- Assumono la forma del recipiente
- Non hanno volume proprio
- Hanno densità inferiore a quella dei liquidi
- Facilmente comprimibili

**Le proprietà meccaniche possono essere trattate in modo unificato → PROPRIETÀ MECCANICHE DEI FLUIDI**

# Densità e Peso Specifico

Occorre definire alcune grandezze fisiche per caratterizzarli:

- Per i sistemi continui si definisce **densità** di una sostanza omogenea il rapporto tra la massa di tale sostanza ed il volume occupato

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- Le dimensioni della densità sono  $[\rho] = [m \cdot L^{-3}]$  e l'unità di misura nel S.I. è il  $Kg/m^3$
- In genere la densità di un corpo (sostanza) dipende dalla sua temperatura poiché il volume varia al variare di  $T$  (cfr. *Termodinamica*)
- Il **peso specifico** è il rapporto tra il peso e il volume di un corpo

$$\sigma = \frac{P}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

# Proprietà Meccaniche dei Fluidi

## Fluidi

- **non hanno forma propria**, assumono quella del recipiente che li contiene
- **non sostengono gli sforzi di taglio** (scorrimenti)

## GAS

- **non hanno forma e volume propri**,
- **occupano tutto lo spazio** a disposizione  $\rho \approx 1,3 \text{ Kg/m}^3$
- **sono facilmente comprimibili**

## LIQUIDI

- **hanno volume definito e superficie limite**
- **sono incompressibili**,  $\rho \approx 10^3 \text{ Kg/m}^3$

- **Comportamenti diversi dovuti a diverse forze di legame** tra le molecole nella fase liquida e gassosa

# Leggi della dinamica per i fluidi

- Ai fluidi si applicano le stesse leggi della meccanica che abbiamo visto per punti e sistemi, opportunamente riformulate per tenere conto delle proprietà dei fluidi stessi

I fluidi sono sistemi continui composti da infiniti elementi di massa  $dm = \rho dV$

Su ciascun elemento  $dm$  agiscono due tipi di forze:

**Forze di volume:** sono quelle proporzionali al volume dell'elemento di massa

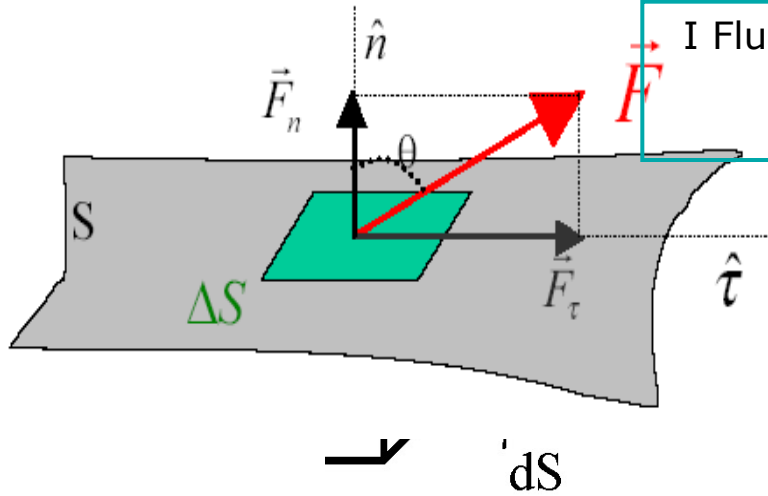
**Forze di superficie:** sono quelle dovute all'interazione dell'elemento di massa con gli altri elementi adiacenti di fluido e sono proporzionali alla superficie dell'elemento di massa

Caratteristica dei fluidi:

❑ Possibilità di scorrimento di un elemento di fluido rispetto ad una adiacente o alla parete del contenitore

❑ Attrito interno (viscosità) che si oppone allo scorrimento, non c'è forza di attrito statico che determina l'equilibrio come nei solidi

I Fluidi sono sistemi continui, composti da un insieme infinito di elementi con  $dm = \rho \, dV$



$$\left. \begin{aligned} F_t^{(s)} &\Rightarrow \frac{dF_t^{(s)}}{dS} = \tau \\ F_n^{(s)} &\Rightarrow \frac{dF_n^{(s)}}{dS} = p \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{scalari}$$

## Forze di volume

Per ciascun elemento di massa  $dm$  del fluido si considerano forze di volume proporzionali a  $dV$ , come ad esempio la forza peso

$$dF^{(v)} = g dm = g \cdot \rho dV$$

## Forze di superficie

Forze di superficie si manifestano sulle superfici di contatto e/o di separazione di fluidi e sono proporzionali alla superficie.

$$dF^{(s)} \Rightarrow p \cdot ds$$

$$p = \frac{dF_n}{dS}$$

Sforzo normale

$$\tau = \frac{dF_t}{dS}$$

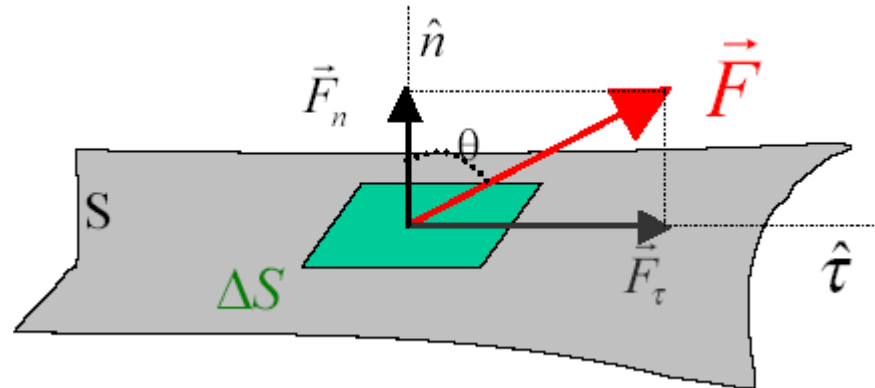
Sforzo di taglio

### NOTA:

- In un fluido in **equilibrio** sono assenti gli sforzi di taglio e si hanno solo forze **normali**
- nei fluidi in moto si hanno anche **sforzi di taglio**

# Forze di superficie normali e tangenziali

- Data una superficie  $S$  (che può essere la superficie che delimita un elemento di volume del corpo), consideriamo una forza  $\underline{F}$  che agisce su un elemento di superficie  $dS$  di  $S$



- La forza  $\underline{F}$  può essere sempre scomposta in due componenti vettoriali: la componente normale,  $\underline{F}_n$ , e quella parallela o tangenziale alla superficie,  $\underline{F}_t$
- La componente normale è quella che genera variazioni di volume (eg compressioni o dilatazioni)
- La componente parallela tende invece a deformare la forma mantenendo il volume costante

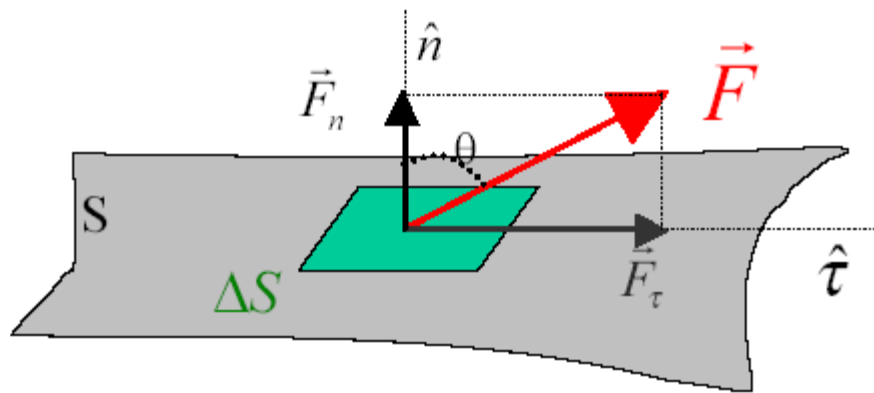


# Forze normali e tangenziali

- Si definisce sforzo normale o **pressione** la forza normale per unita' di superficie

$$p \equiv \frac{F_n}{\Delta S} = \frac{|\vec{F}| \cos \theta}{\Delta S}$$

- Si definisce sforzo tangenziale o di taglio la forza parallela alla superficie per unita' di superficie



$$\tau \equiv \frac{F_t}{\Delta S} = \frac{|\vec{F}| \sin \theta}{\Delta S}$$

NB: lo sforzo e' una forza per unita' di superficie: la forza TOTALE agente agente sulla superficie e' **sforzo\*superficie** su cui agisce

# Pressione

*La pressione per un fluido non ha caratteristiche direzionali*, essa è funzione scalare del punto che si considera all'interno del fluido e non dipende dall'orientazione della superficie su cui è misurata

La pressione in un punto di un fluido è il rapporto tra la forza agente su una superficie infinitesima che circonda il punto e l'area della superficie stessa

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{dF}{dS} \quad \Rightarrow \quad p = \frac{dF}{dS} \quad p = \frac{F}{S} \quad \text{Se } F \text{ costante e' applicata a una superficie finita } S$$

## Unità di misura SI

$$\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow (\text{Pa})$$

## Dimensioni:

$$[\text{MLT}^{-2}] \cdot [\text{L}^{-2}] = [\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}]$$

*la pressione in un fluido si misura ad es con il Barometro aneroide (scatola deformabile)*

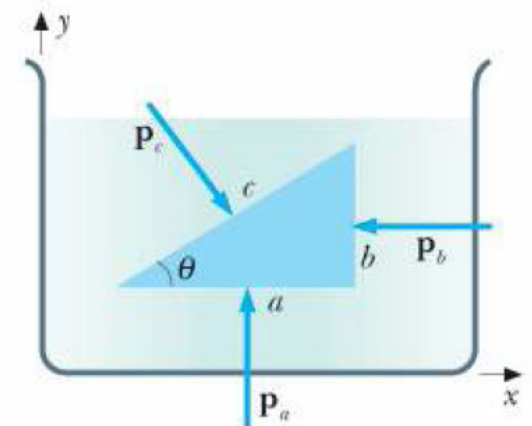
**La PRESSIONE è uno scalare**

altre unità:  $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 1.013 \text{ Bar} \\ 1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg} \Rightarrow 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ Torr} = 1 \text{ atm} \end{array} \right.$

Se un fluido è in quiete *le forze tra gli elementi di fluido sono normali alla superficie* di separazione altrimenti gli elementi scorrerebbero tra di loro

In un fluido in quiete NON ci possono essere sforzi di taglio perché altrimenti ci sarebbe scorrimento fra le parti del fluido

- Pressione non ha caratteristiche direzionali →  
figura è elemento di fluido in equilibrio. Perché  
ciò avvenga deve avere  $p_a = p_b = p_c = p$



**Figura 9.1**

Pressione all'interno di un fluido.

in altre parole la somma vettoriale delle forze che agiscono deve essere nulla

# p e' scalare

□ Se il fluido e' in quiete in assenza di gravita', ci deve essere equilibrio di forze.

□ Le forze che agiscono sono le pressioni sui lati dell'elemento:

$\underline{F}_c + \underline{F}_b + \underline{F}_a = 0$  cioe' in componenti

$$X: F_c \cos \theta - F_b = 0$$

$$Y: F_c \sin \theta - F_a = 0$$

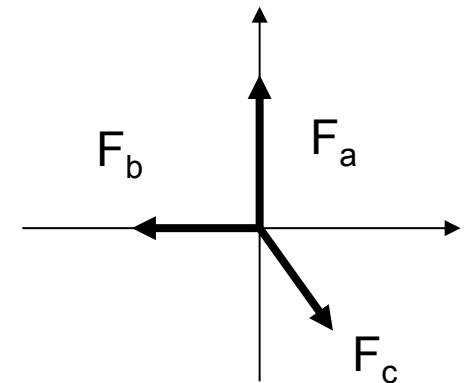
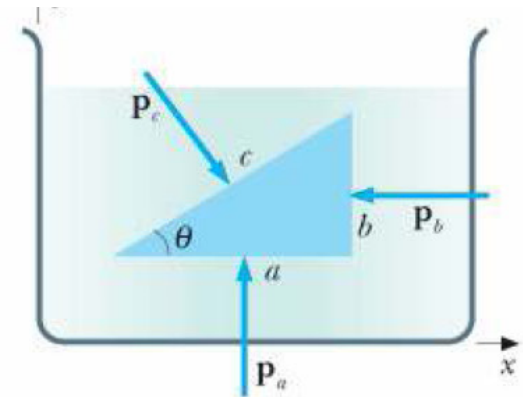
ma  $F_i = p_i S_i \rightarrow$

$$X: p_c S_c \cos \theta - p_b S_b = 0$$

$$Y: p_c S_c \sin \theta - p_a S_a = 0$$

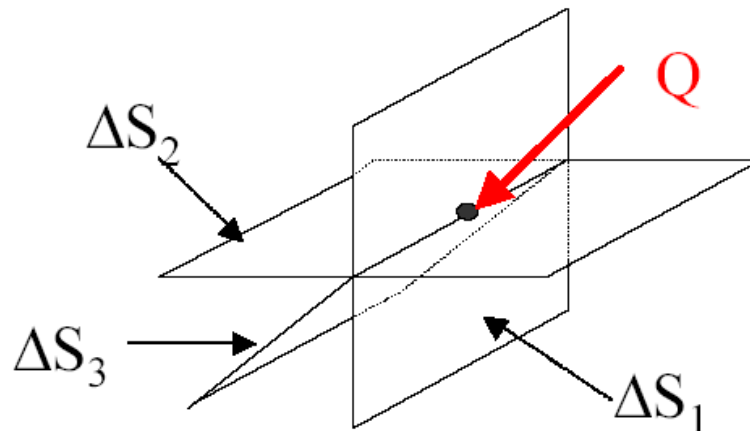
Ma  $S_a = S_c \sin \theta$  ed  $S_b = S_c \cos \theta$  per costruzione geometrica  $\rightarrow p_c = p_a$  e  $p_c = p_b$  e quindi  $p_a = p_b = p_c$

Dato che l'orientazione di a, b e c e' arbitraria, p e' la stessa in tutte le direzioni



# Pressione in un Punto

- Consideriamo un punto  $Q$  in un fluido all'equilibrio.
- Consideriamo inoltre diverse areole  $\Delta S_i$  contenenti  $Q$ .
- La pressione e' sempre normale all'area considerata
- La pressione “ $p$ ” non dipende dall'orientamento della areola considerata.
- Quindi possiamo parlare di *pressione nel punto  $Q$*  senza alcuna altra specificazione



# Solido e fluido

- Si può dare una definizione di solido e fluido in base alla resistenza agli sforzi di taglio
- Un solido è un corpo che si oppone alla deformazione dovuta a sforzi di taglio con una forza che per piccole deformazioni è elastica
- Un fluido non offre resistenza agli sforzi di taglio



# Cosa sono i Fluidi?

- **Definizione Intuitiva:** I Fluidi sono sostanze non aventi forma propria
  - Liquidi: fluidi dotati di volume proprio
  - Aeriformi: fluidi non dotati di volume proprio, cioè tendono a occupare tutto il volume a disposizione
- **Definizione Corretta:** I Fluidi sono sostanze in cui, all'equilibrio, tutti gli sforzi interni (vedremo cosa sono) hanno direzione normale alle rispettive superfici (in una gelatina questo non succede), cioè NON ci sono sforzi di taglio
  - Liquido: fluido dotato di bassissima compressibilità isoterma
  - Aeriforme: fluido dotato di elevata compressibilità isoterma

# Solido e fluido

- Possiamo dire che i solidi sono sistemi in cui e' necessario uno sforzo di taglio per produrre una deformazione, mentre i fluidi non offrono resistenza agli sforzi di taglio, cioe' alle deformazioni.
- La caratteristica dei fluidi e' che i differenti elementi di fluido possono scorrere gli uni rispetto agli altri. Nei fluidi reali lo sforzo di taglio e' proporzionale alla differenza di velocita' dei due elementi di fluidi in moto relativo, o piu' precisamente a  $\Delta v / \Delta x$ , dove  $dx$  e' la distanza fra i due elementi.  $\Delta v / \Delta x$  si chiama GRADIENTE di velocita'. Il coefficiente di proporzionalita' si chiama viscosita' del fluido ed e' l'analogo dell'attrito nei sistemi meccanici,  $dF = \eta dS dv/dx$

# Solido e fluido

- La viscosita' fa si che un elemento di fluido tende a trascinare quelli con cui e' a contatto, e allo stesso tempo viene rallentato dal trascinamento.
- E' necessaria quindi una forza per mantenere un elemento di fluido in moto a velocita' costante, analogamente a quanto accade quando c'e' attrito fra due superfici in moto relativo.
- A causa della viscosita', l'elemento di fluido a contatto con una parete solida e' **SEMPRE** in quiete rispetto alla parete, cioe' e' solidale ad essa (quindi viene trascinato se la parete e' in moto).

# Solido e fluido

I corpi non sono in realta' continui, ma discreti a causa della natura atomica della materia. Le caratteristiche macroscopiche come la forma e volume o, come si dice, gli stati di aggregazione, dipendono dalla natura delle interazioni a livello atomico e molecolare, cioe' microscopico.

**Solidi** → forza di legami tra i componenti atomi o molecole tale che restano fisse o oscillano attorno a posizione di equilibrio . Solidi difficili da deformare alto valore di modulo di Young

**Liquidi** → legame meno forte, componenti si muovono, ma restano legati (no forma propria, impossibilità a resistere a sforzo di taglio, incompressibilità)

**Gas** → molecole in movimento e molto distanti tra loro. Forze intermolecolari decrescono con distanza, non riescono a tenere legate le molecole (no forma e volume proprio, facilmente compressibili, no resistenza a sforzi di taglio)

# Passaggi di stato

Lo stato di aggregazione non è immutabile, si può passare da uno stato di aggregazione all'altro con continuità'.

Cioè un corpo, un sistema fisico può passare dallo stato solido a quello fluido e viceversa, come risultato delle sue interazioni con l'ambiente circostante, cioè come risultato dei suoi scambi di energia con l'ambiente.

Sono ben noti:

Solido → liquido : fusione (inverso: solidificazione)

Liquido → gas : evaporazione (inverso: condensazione)

Solido → gas : sublimazione (inverso: brinamento)

A questo punto, però, occorre sviluppare dei concetti nuovi per spiegare questi fenomeni prima di procedere con lo studio delle proprietà dei fluidi.

# Termodinamica: introduzione

- Prendete un cubetto di ghiaccio dal frigorifero e poggiatelo sul tavolo.

Potete misurare varie grandezze meccaniche:

- massa, volume, densità, forza normale, coefficiente di attrito, etc...
- Allontanatevi ... tornate ... trovate una pozza d'acqua al posto del cubetto di ghiaccio.
- Con i concetti studiati in meccanica non si riesce a spiegare in modo “semplice” il fenomeno.



# Termodinamica: introduzione

- ❑ Prendete un gas, aria per esempio e riempitene un pallone.
- ❑ Scaldate l'aria nel pallone, p es con una fiamma (come negli aerostati).
- ❑ Il pallone si dilata (se non e' rigido), non ruota, non trasla → il suo centro di massa non si sposta...ma qualcosa nello stato del sistema e' cambiato: se ora sganciamo il pallone dall'ancoraggio a terra, esso sale (se e' "caldo" abbastanza)!
- ❑ Poiche' non si e' spostato durante il tempo in cui la fiamma e' stata a contatto con l'aria nel pallone, la sua energia meccanica e' rimasta la stessa. Da dove ha preso l'energia per salire contro la gravita'?

Anche in questo caso, le leggi della meccanica non riescono a spiegare in modo semplice il fenomeno

# Termodinamica: introduzione

Per descrivere questi processi e altri simili si può osservare che i sistemi in questione sono formati da un gran numero di particelle (molecole, atomi) che costituiscono il corpo delle quali non interessa conoscere singolarmente, istante per istante, lo stato di moto, mentre si desidera conoscere il comportamento globale dell'insieme nel processo in esame, come il riscaldamento e la fusione. Un sistema del genere viene descritto mediante un numero limitato di grandezze fisiche, la cui introduzione è suggerita dall'esperienza (volume, pressione, temperatura,...). La descrizione del processo in questi termini conduce alla termodinamica

Occorre introdurre nuove grandezze fisiche per descrivere questi processi, come per esempio:

- ☐ Temperatura
- ☐ Calore

# Termodinamica: definizione

- Studia il **bilancio energetico** di sistemi fisici nel modo più generale, compresi scambi di energia non meccanici (**calore**)
- La termodinamica è quella parte della fisica che studia il comportamento di sistemi complessi composti, da un punto di vista microscopico, da un numero molto elevato di **particelle**, utilizzando poche grandezze fisiche macroscopiche complessive del sistema (termodinamico) stesso, come volume, pressione, densità, temperatura,...).

# La Termodinamica

Esperienze come quelle descritte nell'introduzione suggeriscono che i processi visti dipendano dallo stato "termico" del corpo, distinto da quello meccanico.

Lo stato termico del corpo e' misurato da una nuova grandezza fisica, la temperatura

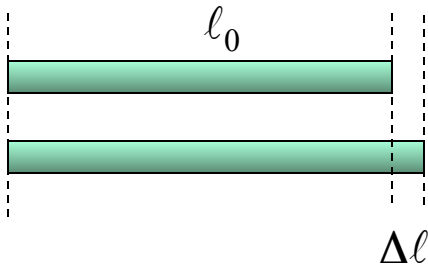
I concetti di stato termico e temperatura sono suggeriti anche dalle sensazioni che si provano nel toccare corpi in diversi stati termici (provate a toccare un pezzo di ferro incandescente o lo stesso pezzo immerso in un bagno di azoto liquido...), le quali vanno rese oggettive mediante l'uso di appositi strumenti

# Temperatura

- La grandezza fisica temperatura deve essere definita operativamente, cioè definendo le modalità con cui viene misurata
- Partiamo da osservazioni sperimentali:
  - Se poniamo due corpi, uno che “sentiamo” più caldo e uno che “sentiamo” più freddo, a contatto essi pervengono ad uno stato di equilibrio termico, cioè si trovano nello stato termico, dopo un tempo sufficientemente lungo.
  - Possiamo dire che la grandezza temperatura (non ancora ben definita!) assume in questo caso lo stesso valore per entrambi i corpi
  - Al variare dello stato termico variano i valori che assumono certe grandezze fisiche come lunghezza, volume, densità, etc..

# Termologia

Dilatazione termica. E' una delle proprietà termometriche con cui si misura la temperatura



$$\Delta \ell = \ell_0 \lambda \Delta T$$

$$\lambda = \frac{1}{\ell_0} \frac{\Delta \ell}{\Delta T}$$

coefficiente di  
espansione lineare.

**Esempi** ( $\lambda$  in  $K^{-1}$ ):

acciaio	$1.1 \cdot 10^{-5}$
rame	$1.7 \cdot 10^{-5}$
vetro pyrex	$3.2 \cdot 10^{-6}$

In generale  $\lambda > 0$  (il riscaldamento provoca espansione, quasi sempre). Per l'espansione volumica:

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta T$$

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T} = (1 + \lambda)^3 - 1 \approx 3\lambda$$

**Esempi:**

acqua	$1.8 \cdot 10^{-4}$
Alcool etilico	$10.4 \cdot 10^{-4}$
Hg	$1.8 \cdot 10^{-4}$

E' ciò che si sfrutta nei termometri a mercurio



# Misuriamo la Temperatura

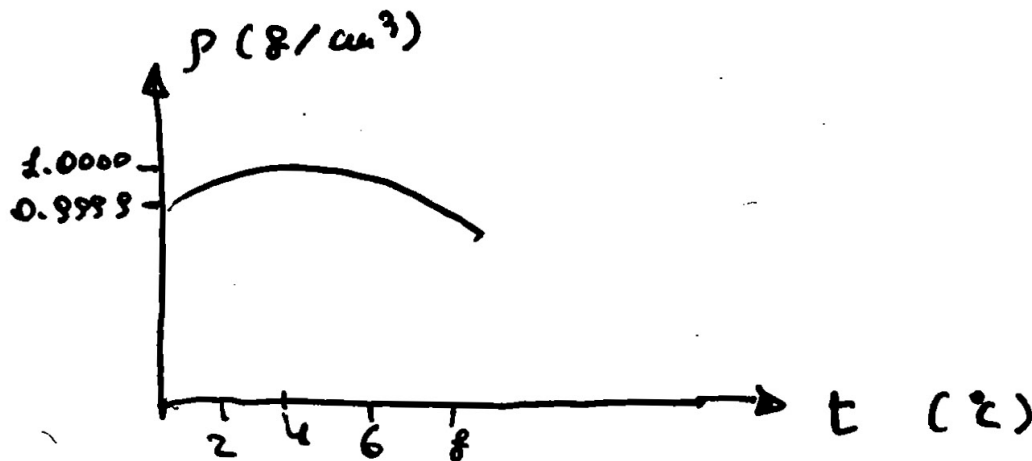
- Possiamo quindi usare un corpo (sostanza termometrica) e mettere in relazione la variazione di una grandezza fisica (proprietà termometrica) con la variazione di dello stato termico di un corpo e costruire uno strumento (**termoscopio**) per misurare lo stato termico del corpo
- Diremo che due corpi o sistemi si trovano nello stesso stato termico, cioè hanno la stessa temperatura, se posti successivamente a contatto con il termoscopio, la grandezza termometrica assume lo stesso valore per ciascuno di essi (p. es lo stesso allungamento di una sbarra metallica, la stessa dilatazione di un volume di mercurio,...)

# Comportamento anomalo dell'acqua

A  $T > 4\text{ C}$ , l'acqua si espande come tutti le sostanze. Fra 0 e 4 C invece si contrae → a  $T > 4\text{ C}$  la densità diminuisce, a  $T < 4\text{ C}$  aumenta, cioè a  $T = 4\text{ C}$  la densità ha un max.

Questo fa sì che l'acqua cominci a gelare dalla superficie : man mano che l'acqua di superficie viene raffreddata, per esempio a partire da 10 C verso il punto di congelamento, essa diventa più densa e quindi affonda.

Sotto i 4 C però ulteriori raffreddamenti rendono l'acqua meno densa dell'acqua che sta sotto, perciò rimane in superficie fin tanto che ghiaccia. Il ghiaccio è meno denso dell'acqua perché quando ghiaccia l'acqua aumenta di volume



Se i laghi gelassero a partire dal fondo, il ghiaccio così formato non si scioglierebbe durante l'estate essendo isolato dall'acqua soprastante. Dopo pochi anni molti laghi delle zone temperate sarebbero completamente gelati tutto l'anno...la vita acquatica sarebbe completamente diversa e forse non ci sarebbe

# Principio Zero della Termodinamica

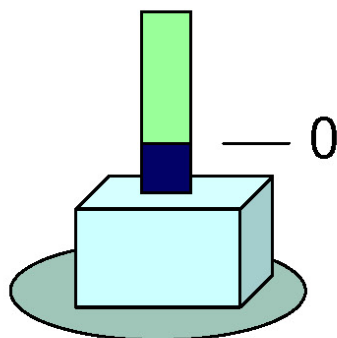
- Con lo strumento (termometro) che ci siamo appena costruiti, possiamo verificare se due corpi sono alla stessa temperatura, cioè sono all'equilibrio termico fra di loro.
- Si trova che:  

Se un corpo A è all'equilibrio termico con un corpo B, e il corpo B è all'equilibrio termico con un corpo C, allora A è all'equilibrio termico con C.
- La legge zero viene utilizzata continuamente, infatti si misura la temperatura del termometro che si suppone all'equilibrio termico con il corpo e la si chiama "temperatura del corpo"

# Scale Termometriche

- Abbiamo visto come possiamo misurare (in maniera approssimata) la temperatura
- Dobbiamo definire una scala termometrica
- Esistono almeno 3 diverse scale termometriche usate nel mondo... **Scala Centigrada o Celsius, assoluta o Kelvin, e fahrenheit:**
  - Si sceglie come  $0^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$  la temperatura di fusione ed ebollizione dell'acqua alla pressione di 1 atmosfera
  - Gli americani usano invece la scala Fahrenheit dove le 2 temperature suddette sono rispettivamente  $32^{\circ}\text{F}$  e  $212^{\circ}\text{F}$
- La scala Celsius è anche quella che più rispecchia l'andamento della scala assoluta delle temperature (che ancora dobbiamo definire)

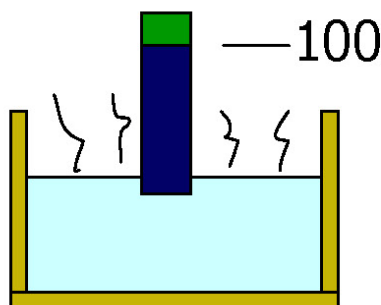
■ Mettiamo a contatto il termometro a mercurio con un cubetto di ghiaccio che sta fondendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

## Taratura del termoscopio: scala Celsius

■ Mettiamo ora a contatto il termometro con l'acqua che sta bollendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Si divide ora la distanza tra  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  in 100 parti uguali, in modo tale che il grado Celsius (centigrado) corrisponda alla centesima parte della differenza di temperatura tra il ghiaccio che fonde e l'acqua che bolle.
- Problema: l'acqua non bolle sempre alla stessa temperatura, ma dipende dalla pressione atmosferica.

# Scala Fahrenheit

■ Negli Stati Uniti utilizzano una diversa scala per misurare la temperatura:

- la temperatura del ghiaccio fondente è 32 °F
- la temperatura dell'acqua che bolle è 212 °F
- la differenza di temperatura tra questi due punti è 180 °F.

■ Quindi  $\Delta T = 100\text{ °C} = 180\text{ °F}$

$$\Rightarrow 1\text{ °C} = \frac{180}{100}\text{ °F} = \frac{9}{5}\text{ °F} = 1.8\text{ °F}$$

■ Per passare da °C a °F si fa:

$$T_F = 1.8 T_C + 32$$

■ Per passare da °F a °C si fa:

$$T_C = (T_F - 32) \cdot 5/9$$

esempio: 100 °F -> °C

$$T_C = (100 - 32) \cdot 5/9 = 37.8\text{ °C}$$

# Il Calore

- Sappiamo sperimentalmente che dati due corpi a temperatura diversa, messi a contatto fra loro, raggiungono l'equilibrio termico (cioe' la stessa temperatura) dopo un tempo sufficientemente lungo
- Questo era spiegato (nel 18° secolo) come il flusso di un fluido invisibile ed imponderabile da un corpo all'altro, il **calorico**
- La **teoria del calorico** prevedeva che questo fluido fosse contenuto nei corpi e passasse da un corpo all'altro
- La teoria del calorico fu dimostrata erronea con gli esperimenti di Joule sull'equivalenza fra calore ed energia