La fisica nella vita quotidiana

Renzo Campanella

Dipartimento di Fisica
Università di Perugia

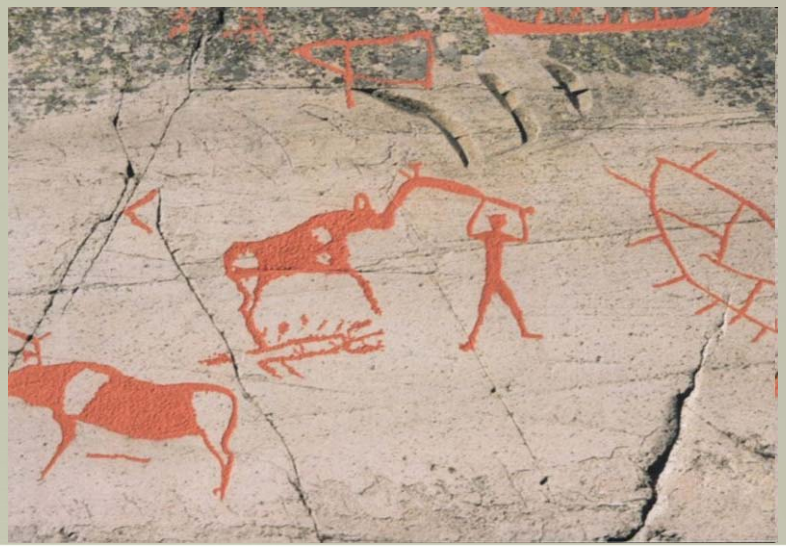
La «debolezza» dell'uomo

- Friedrich Nietzsche: "*L'uomo è un animale non ancora stabilizzato*" (Umano troppo umano)
- Il rapporto con la natura, armonico per l'animale, è disarmonico per l'uomo, che perciò è costretto a dominare la natura con la tecnica per poter sopravvivere.

Necessità della tecnica

- L'uomo può vivere "naturalmente" in un intervallo di temperature molto limitato (deve quindi coprirsi, riscaldarsi)
- Rispetto a tanti animali l'uomo è
  - debole
  - lento
  - poco agile

  (scoperta delle armi)



La tecnologia

- Il miglioramento delle condizioni di vita dell’umanità deriva dal progresso tecnologico
- τεχνολογία (tékhne-loghìa): “discorso (o ragionamento) sull'arte”
- con arte sino al secolo XVIII si intendeva il saper fare, quello che oggi indichiamo con la tecnica.

La modernità

- Con la nascita della scienza moderna attorno al secolo XVI i termini tecnica e tecnologia tendono a confondersi tra loro e diventano strettamente legati al sapere scientifico.
- L'approccio sperimentale alla ricerca resta uno strumento di indagine basilare per il progresso della conoscenza, ma è vincolato ai principi (teoremi) di validità generale.
- D'altra parte il progresso tecnologico sposta sempre più avanti i limiti della scienza, consentendo di realizzare esperimenti e osservare fenomeni prima sconosciuti

Come la scienza cambia la vita quotidiana

- Il frigorifero
- L’energia elettrica
- I dispositivi elettronici

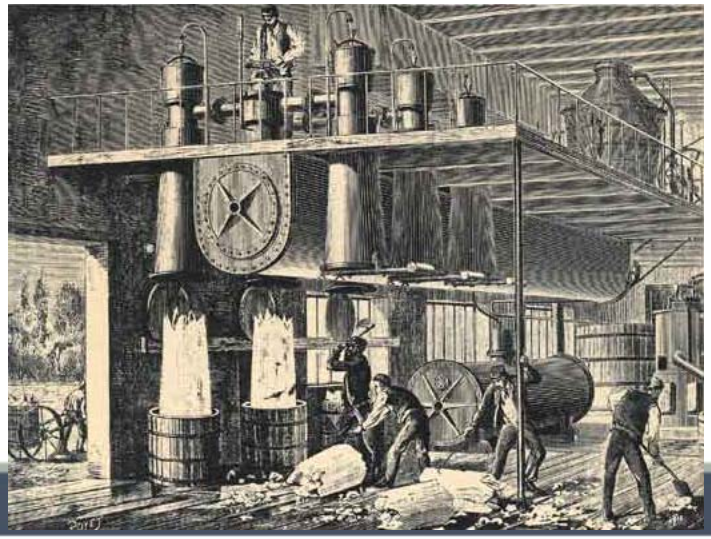
La lunga corsa verso il freddo

La lunga corsa verso il freddo

- **Sin dalla preistoria, neve e ghiaccio sono stati usati per conservare gli alimenti, in primo luogo le proteine animali.**
- **Le prime ghiacciaie di cui si ha notizia sono in Persia, 1700 a.C.**
- **A partire almeno dal Seicento sono stati uno degli aspetti della modernità**
- **Nascita di magazzini di stoccaggio di blocchi di neve, dette "Neviere"**

La lunga corsa verso il freddo

- **Nel Rinascimento, piccoli edifici adibiti a ghiacciaie compaiono nelle cantine o nelle corti rustiche di ville e palazzi.**
- **Fra il XVII e il XVIII secolo la raccolta e la conservazione di neve e ghiaccio divenne un'attività industriale**
- **A partire dal 1830 (Inghilterra), poi anche in Italia (a Roma dal 1880) nacquero i primi stabilimenti per la produzione del ghiaccio industriale**



La refrigerazione: dall’antichità all’epoca moderna

- Fin dall’antichità era noto che vasi porosi di terracotta mantengono fresca l'acqua (l'evaporazione raffredda il corpo che la produce)
- Gli arabi scoprirono che l'aggiunta di alcuni sali ad acqua e vino rinfrescava le bevande.
- Nel 1550, il medico spagnolo residente in Roma, Blas Villafranca fu il primo ad usare la parola refrigerazione
- Francis Bacon (1561-1626) e Robert Boyle (1627-1691) parlano dell'uso dei sali per raffreddare acqua
- Daniel Gabrieli Fahrenheit (1686-1736) stabilì lo zero del suo termometro usando neve con aggiunta di nitrato di ammonio.
- Nel 1741 l'astronomo francese Jean Jacques D. De Mairan mostrò che si può far scendere il mercurio in un termometro con bulbo umido, soffiandogli sopra dell'aria
- Il chimico Antoine Baumé nel 1773 osservò che il fenomeno del raffreddamento per evaporazione può essere accentuato utilizzando l'etere solforico.

La refrigerazione: dall’antichità all’epoca moderna

- Il chimico Antoine Baumé nel 1773 osservò che il fenomeno del raffreddamento per evaporazione può essere accentuato utilizzando l'etere solforico.
- Il fisico napoletano Tiberio Cavallo pubblicò una memoria nelle Transactions of the Royal Society (1781) su metodi di refrigerazione mediante etere ed alcool.
- Tale memoria fu una delle basi di partenza del progetto di Jeremy Bentham di costruire un frigidarium al fine di riuscire a conservare cibi che a temperatura ordinaria si sarebbero avariati
- Nel 1810, il fisico scozzese John Leslie perfezionò una macchina da laboratorio in grado di produrre 3 chilogrammi di ghiaccio l'ora.

Antoine-Laurent de Lavoisier

- Gia Antoine-Laurent de Lavoisier 1743-1794) propose che in particolari condizioni un gas avrebbe potuto liquefarsi.

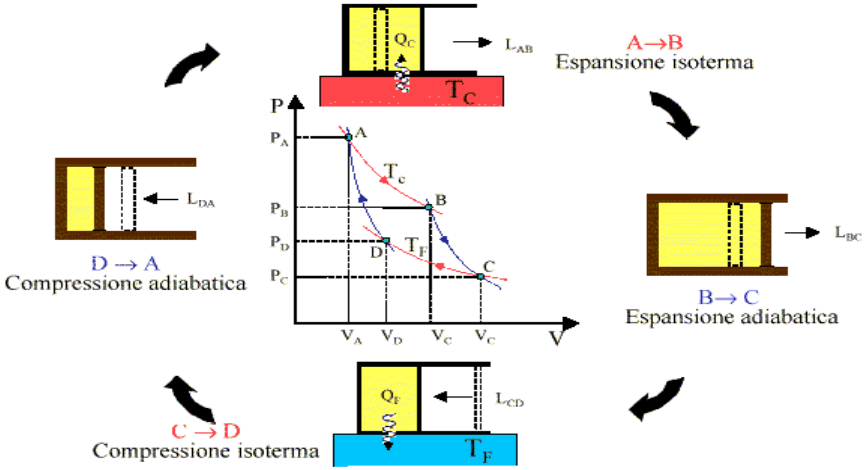
  "Se la Terra fosse trasportata in una regione più calda del Sistema Solare, dove la temperatura ambiente fosse superiore a quella dell'acqua bollente, tutti i liquidi ed anche alcuni metalli si trasformerebbero nello stato gassoso e diventerebbero parte dell'atmosfera. Se invece la Terra fosse trasportata in regioni molto fredde, come quelle, ad esempio, di Giove o di Saturno, l'acqua dei fiumi e degli oceani si muterebbe in montagne solide e l'aria, o quanto meno alcuni dei suoi componenti, cesserebbe di essere un gas invisibile e si trasformerebbe nello stato liquido. Una trasformazione di questo genere produrrebbe così nuovi liquidi di cui attualmente non abbiamo alcuna idea. "

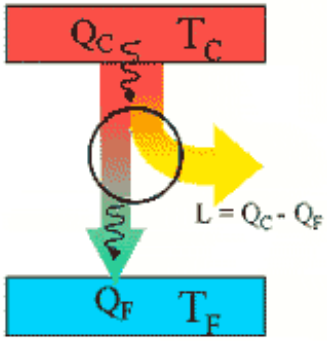
- Purtroppo morì durante la Rivoluzione Francese

Sadi Carnot

Il ciclo di Carnot

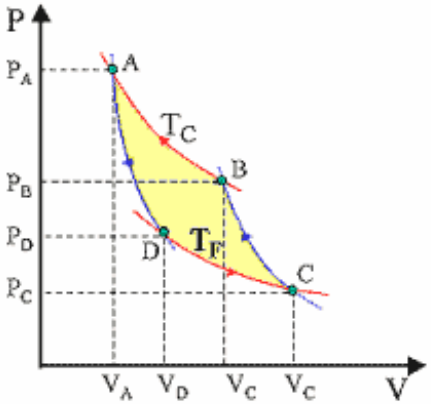
A → B Espansione isoterma reversibile (T_C costante)
B → C Espansione adiabatica reversibile (Q costante)
C → D Compressione isoterma reversibile (T_F costante)
D → A Compressione adiabatica reversibile (Q costante)



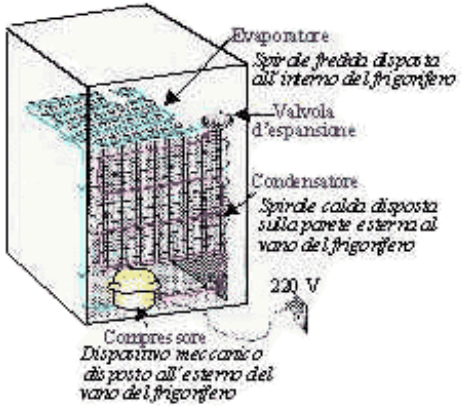


Il ciclo inverso di Carnot

E' uguale al Ciclo di Carnot con le trasformazioni operate in senso inverso.
Cambiano anche il verso del lavoro e del calore che il sistema scambia con l'esterno: il calore Q_F viene assorbito dal gas dal serbatoio di calore a bassa temperatura T_F, il calore Q_C viene ceduto al serbatoio al serbatoio di calore alla temperatura T_C , il Lavoro non viene prodotto dal sistema ma fornito al sistema.

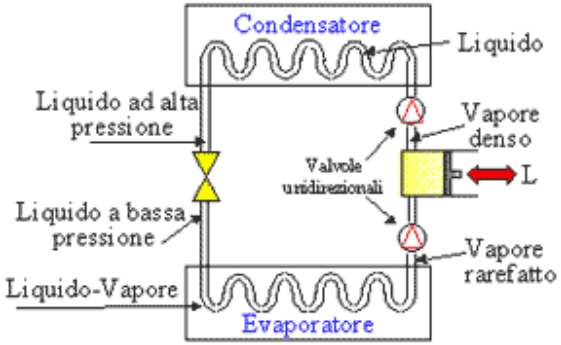


Il frigorifero



Un circuito sigillato contenente il gas refrigerante si chiude sul compressore, un motore elettrico che comprime il gas in modo da rendere possibile la liquefazione quando viene raffreddato.

Il gas compresso nel compressore in modo adiabatico, cioè senza scambio di calore con l'esterno, aumenta la sua temperatura e arrivando al condensatore, che è quella parte del circuito che rimane all'esterno del frigorifero, cede calore all'ambiente condensandosi a liquido. Il liquido ad alta pressione passa attraverso una valvola con una apertura molto piccola che ha l'effetto di provocare abbassamento notevole della temperatura al di sotto di quella interna al frigorifero. Il gas, all'interno dell'evaporatore, sottrae calore raffreddando l'interno del frigorifero. Il gas, caldo, torna quindi al compressore e ricomincia il ciclo.



Con QF indichiamo la quantità di calore che, in un ciclo, è sottratta tramite l'evaporatore al frigorifero, mentre con QC indichiamo la quantità di calore che, sempre in un ciclo, tramite il condensatore viene ceduta all'esterno, e indichiamo con L il lavoro svolto dal compressore mosso da un motore elettrico funzionante grazie all'energia elettrica.

dalle candele all'elettricità

- William Gilbert (1544-1603): "De Magnete"; la 'terrella'; distinzione fenomeni elettrici e magnetici;
- Otto Von Guericke (1602-1686): ingegnere; studi sul vuoto; primo "generatore" con sfera di zolfo
- Stephen Gray (1666-1736): conduttori ed isolanti
- Charles Dufay (1698-1739): chimico; elettricità "vetrosa" e "resinosa"
- Pieter Van Musschenbroek (1692-1761) di Leida: fisico; il primo condensatore
- John Canton (1718-1772): induzione elettrica
- Benjamin Franklin (1706-1790): tipografo, giornalista, inventore, politico… Conservazione della carica, proprietà dei corpi appuntiti
- Charles Augustine de Coulomb (1736-1806): ingegnere; legge quantitativa

dalle candele all'elettricità

- Henry Cavendish (1731-1810): più famoso per contributi in chimica; analogo di Coulomb, e studi su capacità di condensatori di forme diverse (definizione di capacità)
- Joseph Louis Lagrange (1736-1813): il concetto di potenziale
- Pierre Simon De Laplace (1749-1827)
- Siméon Denis Poisson (1781-1840)
- George Green (1793-1841)
- Carl Friederich Gauss (1777-1875)
- Alessandro Volta (1745-1827): elettroforo, elettrometro, eudiometro, pila…
- Hans Christian Oersted (1777-1851): effetti magnetici delle correnti
- André-Marie Ampère (1775-1836): leggi dell'azione meccanica tra correnti elettriche

dalle candele all'elettricità

- Michael Faraday (1791-1867): attività colossale (leghe dell'acciaio, rotazioni elettromagnetiche, liquefazione dei gas, vetri ottici, scoperta del benzene, induzione elettromagnetica, decomposizione elettrochimica, scariche nei gas, benzene, elettricità e magnetismo, diamagnetismo…. Il più grande **fisico sperimentale del XIX secolo**
- James Clerk Maxwell (1831-1879): teoria dell'elettromagnetismo ("Treatise on electricity and Magnetism"), termodinamica e meccanica statistica. Maxwell intuì che la luce era una manifestazione del campo elettromagnetico
- Heinrich Hertz (1857-1894):Generazione/rivelazione onde EM: prove della teoria di Maxwell

dalle candele all'elettricità

Da una lettera di Faraday a Maxwell nel 1857:

"...C'è qualcosa che mi piacerebbe chiederle. Quando un matematico impegnato sulla ricerca delle azioni e sugli effetti fisici è giunto alle sue conclusioni, non è possibile che queste ultime siano esposte nel linguaggio di tutti i giorni, con la pienezza, chiarezza e precisione che esse hanno nelle formule matematiche? E, in caso affermativo, il farlo non sarebbe un gran dono verso uno come me? Tradurle dal linguaggio dei geroglifici in cui sono espresse, così che anche uno come me vi possa lavorar su per mezzo di esperimenti…."

dalla fisica classica ai quanti

La fine della fisica classica

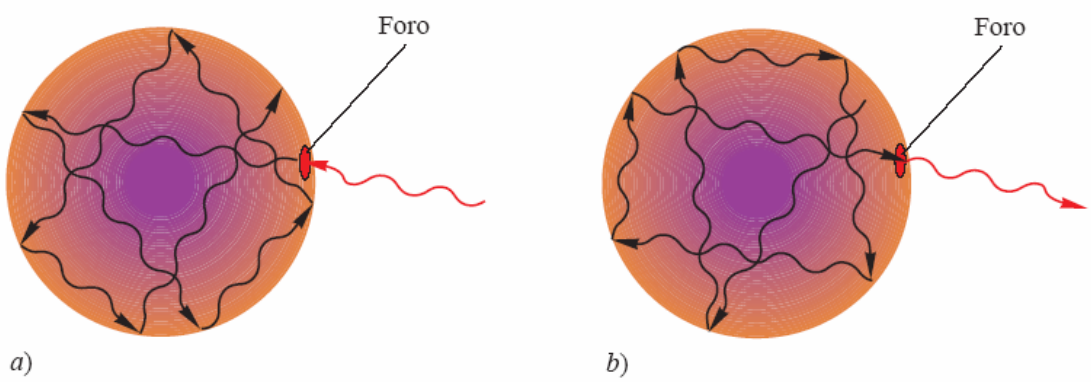
- radiazione di corpo nero
- effetto fotoelettrico
- effetto Compton
- spettri atomici
- calori specifici dei solidi

La nascita della Meccanica Quantistica

- onde e particelle
- funzione d'onda
- principio di indeterminazione
- orbitali atomici

Il corpo nero

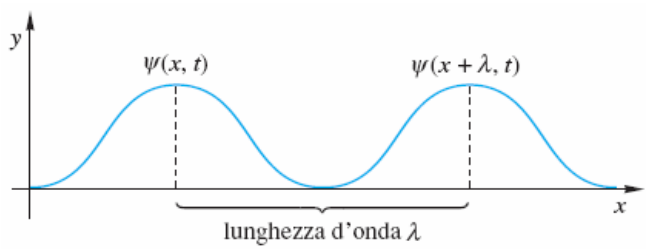
E' un modello, in pratica assimilabile a un "forno" ideale, che, una volta riscaldato, emette radiazione elettromagnetica sotto forma di luce.

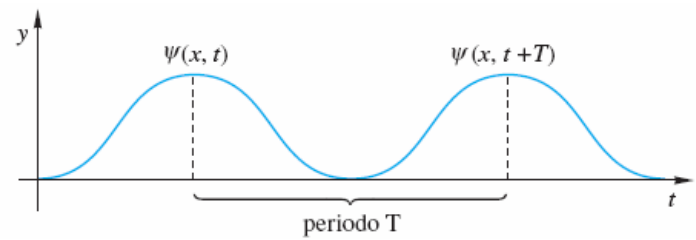


Il corpo nero CLASSICO

Secondo la teoria classica la radiazione elettromagnetica si propaga come un'onda nello spazio alla velocità costante *c* è dotata di una lunghezza d'onda λ e di una frequenza; queste ultime sono legate *f* dalla semplice relazione:

$$c = \lambda \cdot f$$





L'energia trasportata dall'onda cresce al crescere della frequenza:

E

Il corpo nero CLASSICO

- Cosa non funziona nella teoria classica del corpo? La previsione dei dati sperimentali.
- Poiché l'energia cresce con la frequenza, quando si scalda un corpo nero la gran parte dell'energia dovrebbe essere assorbita dai componenti della materia che emetterebbero radiazioni ad alta frequenza, ossia a piccola lunghezza d'onda, (previsione errata detta catastrofe ultravioletta, cosa che invece non accade in realtà: ad es. quando apriamo un forno in cucina per controllare la cottura di un arrosto, non veniamo investiti da una micidiale radiazione elettromagnetica ultravioletta…!

Il corpo nero QUANTISTICO e l'ipotesi di Planck

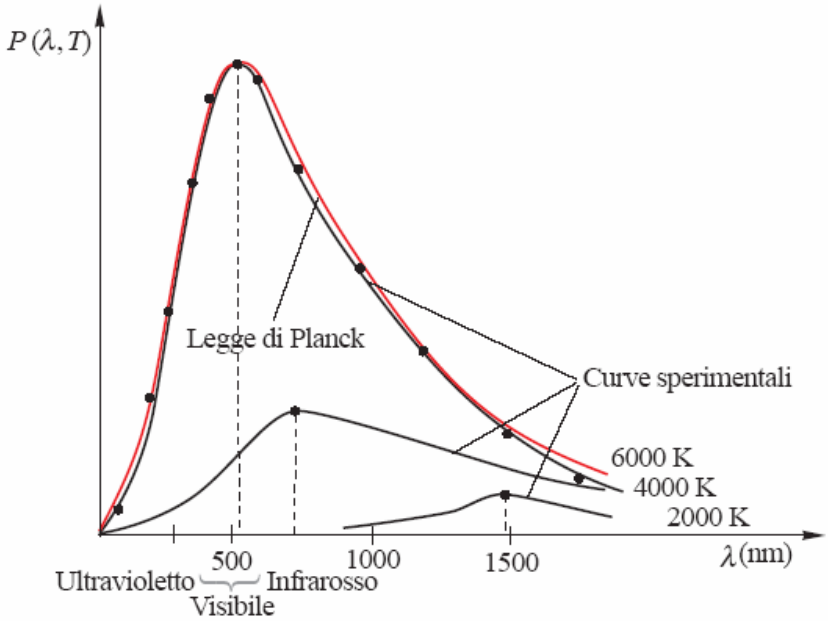
- Quale particolare meccanismo risiede all'interno degli atomi, che genera un particolare colore quando il corpo viene portato a una certa temperatura (la *temperatura-colore* è un concetto ben noto tra i fotografi professionisti)?
- Lo scienziato tedesco Max Planck, ipotizzò nell'anno 1900 un particolare meccanismo, basato sulle seguenti ipotesi:
  - la distribuzione statistica dell'energia;
  - l'energia *E* assorbita dal corpo **NON VARIA CON CONTINUITA'**, ma è distribuita in pacchetti, cioè in piccoli granuli, ed è proporzionale alla frequenza *f* secondo la costante di Planck *h*:

$$E = h f$$

Con h=6.62.10-34 J.s, chiamata anche quanto d'azione.

La distribuzione spettrale di Planck

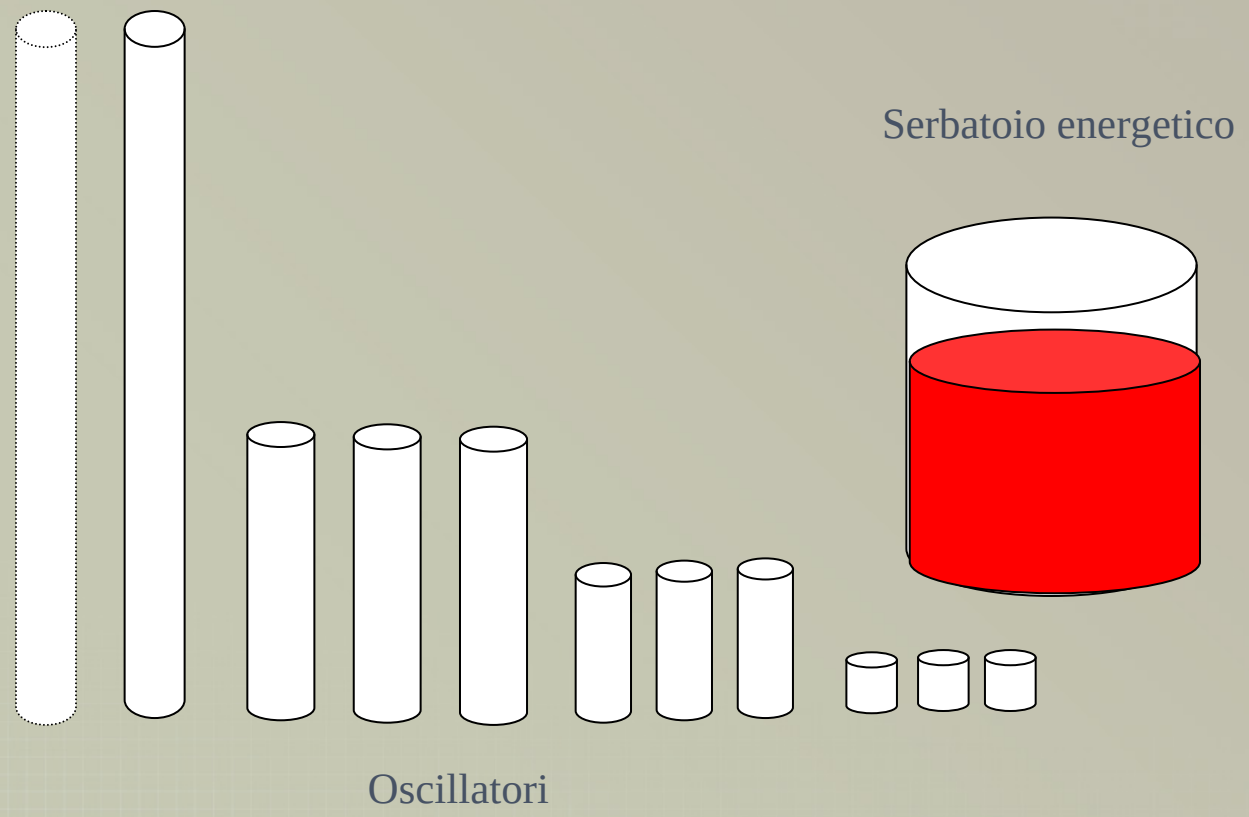
Per una particolare temperatura, in corrispondenza di una lunghezza d'onda **media** esiste un massimo della potenza, ossia dell'energia irradiata dal corpo nero ad ogni istante di tempo, sotto forma di radiazione elettromagnetica (anche di luce); la distribuzione ha una caratteristica **forma a campana**, tipica delle distribuzioni statistiche (media delle popolazioni, ecc..)



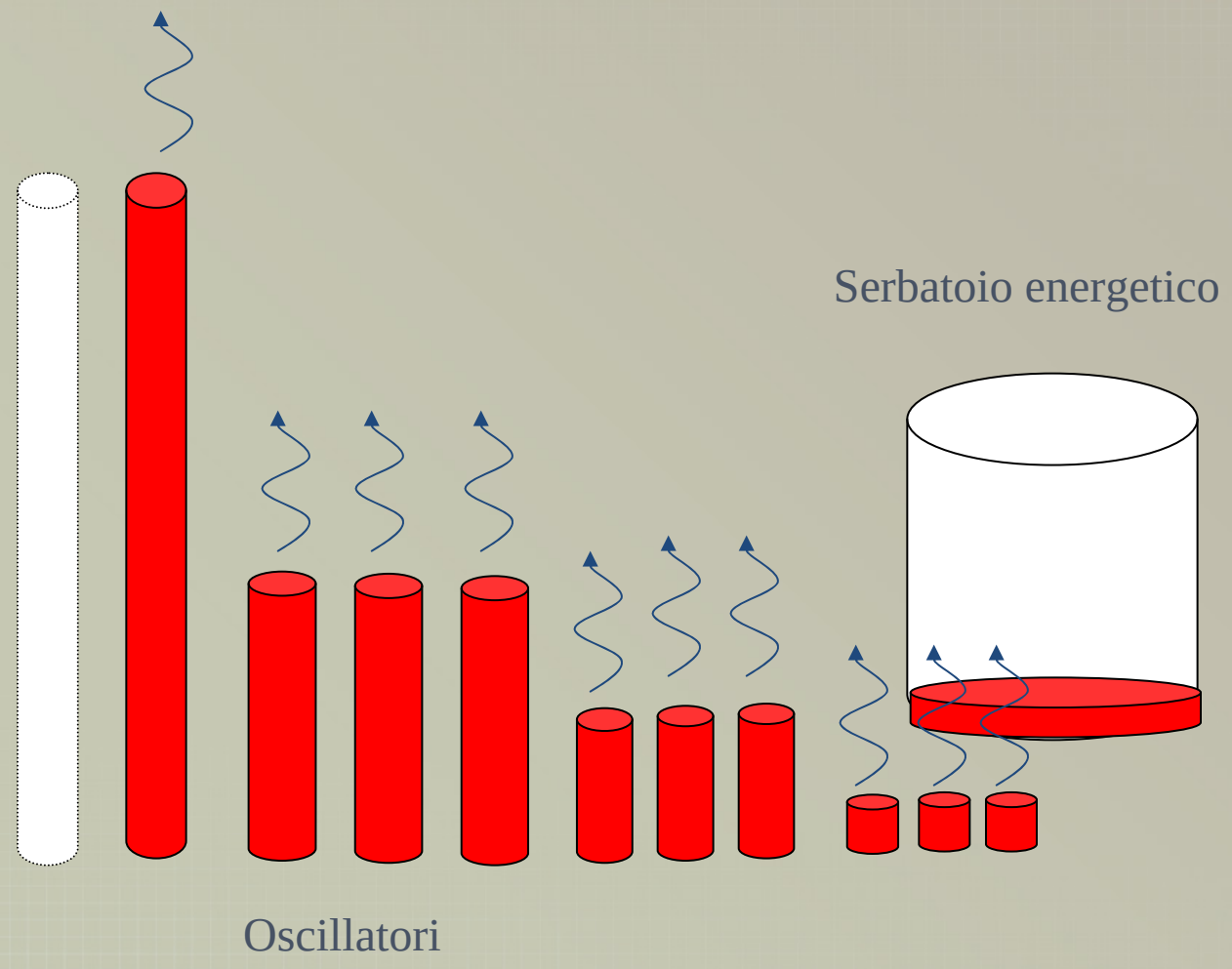
La spiegazione di Planck del corpo nero

- Vengono “eccitati”, ossia “attivati”, dapprima i componenti della materia (assimilabili a piccoli oscillatori, perché generano le onde elettromagnetiche) aventi poche esigenze in termini energetici, per poi arrivare a tutti gli altri.
- In questo modo tutta l’energia a disposizione si può distribuire tra un numero maggiore di oscillatori (è una tra le tante regole di equità possibili).

Meccanismo della radiazione di corpo nero

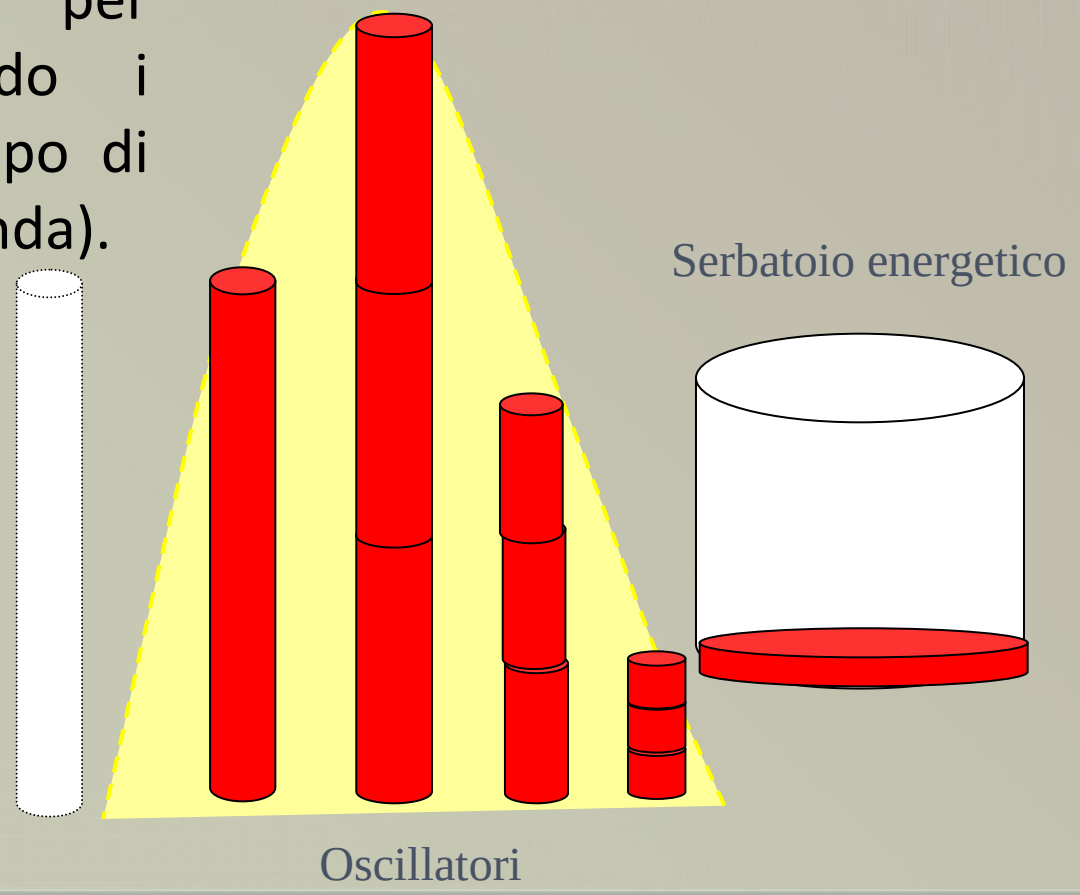


Meccanismo della radiazione di corpo nero

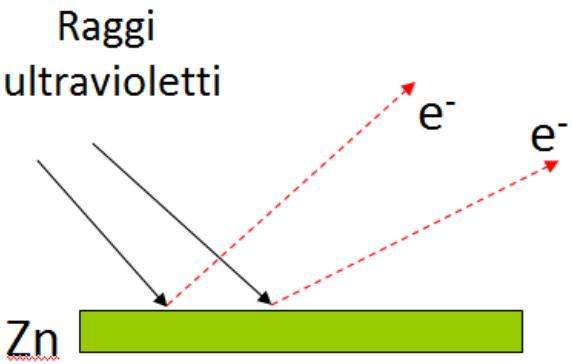


Meccanismo della radiazione di corpo nero

- Facciamo un istogramma della (classificandoli per distribuzione, sommando i contributi per ciascun tipo di oscillatore lunghezza d'onda).
- Otteniamo la tipica forma a campana della distribuzione spettrale di Planck



effetto fotoelettrico

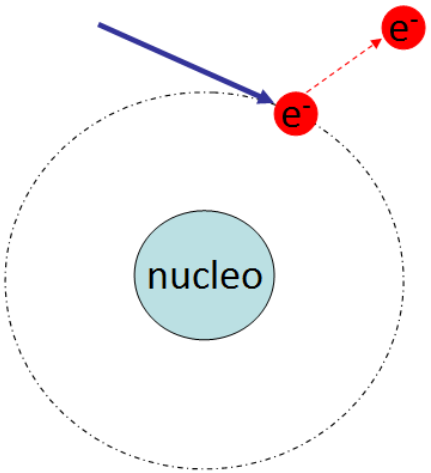


Energia e- emessi:

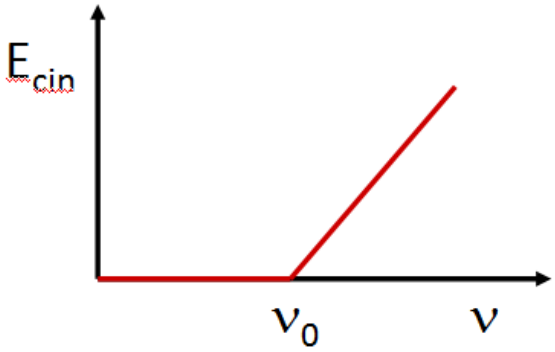
- non dipende dall'intensità della luce
- dipende dalla frequenza della luce

Emissione degli e^- praticamente istantanea ($<10^{-9}$ sec)

di e- emessi dipende dall'intensità della radiazione



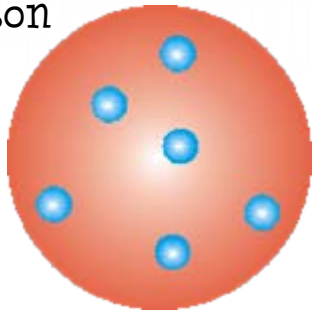
$$E_{cin} = h\nu - E_{leg}$$



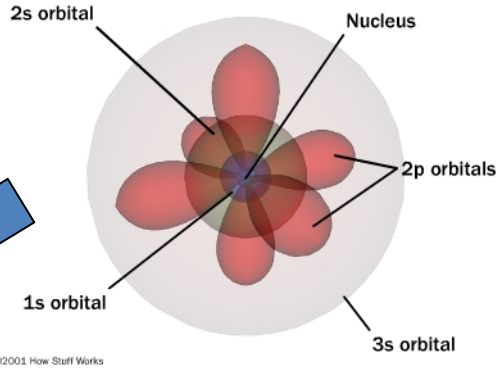
la storia dei modelli atomici

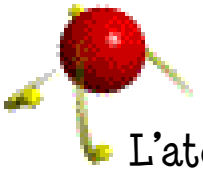
L'atomo alla fine dell'800

L'atomo di Thompson

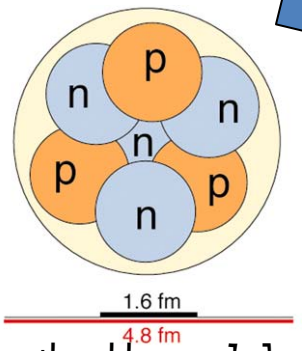


L'atomo quantistico

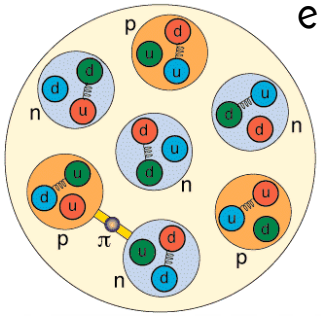




L'atomo di Rutherford e Bohr

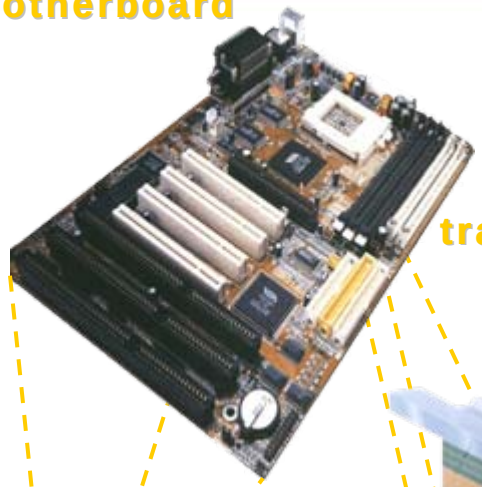


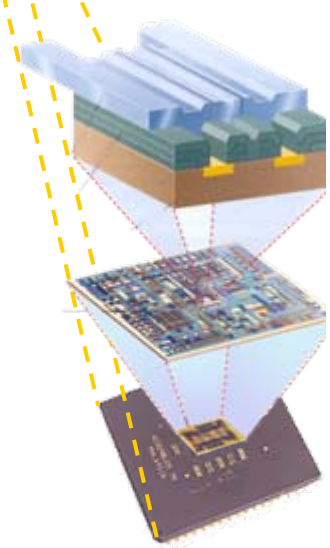
La struttura del nucleo



Il nucleo oggi

Come funzionano questi oggetti?



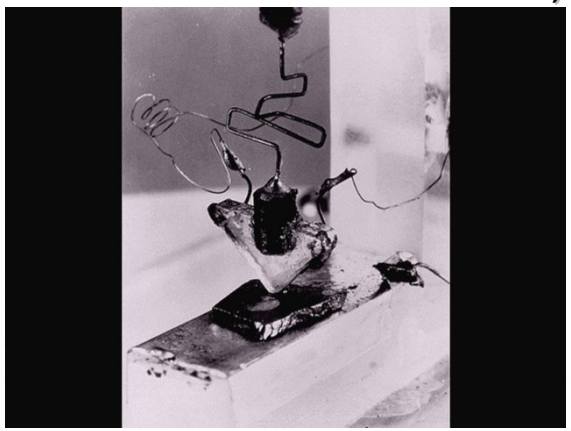


Scoperta dei semiconduttori e prime applicazioni

1782 A. Volta	introduce la parola “semiconduttori”
1833 M. Faraday	nota che la conducibilità (σ) di alcuni materiali aumenta con T
1874 F. Braun	primi diodi a cristallo
1897 J.J. Thomson	scopre l’elettrone
1901 V. E. Riecke	scopre che la corrente elettrica nei metalli è dovuta al moto degli elettroni
1903 J. Koenigsberg	postula che la resistività (ρ) dei semiconduttori dipende da T
1931 A. Wilson	propone una teoria a bande dei solidi e il concetto di impurezze donori ed accettori.
1931 W. Heisenberg	concetto di lacuna come quasi-particella di carica positiva che descrive gli stati vuoti in una banda altrimenti piena.
1931 W. Pauli scrive a R. Peierls	*"uno non deve lavorare sui semiconduttori, sono un pasticcio, chi sa se addirittura esistono i semiconduttori”*
1936 Bell Telephone Laboratories	programma di ricerca per sostituire i commutatori elettromeccanici con quelli a stato solido.
1939 - 1945	II guerra mondiale: gran parte delle ricerche si spostano su problemi connessi con l’industria bellica…

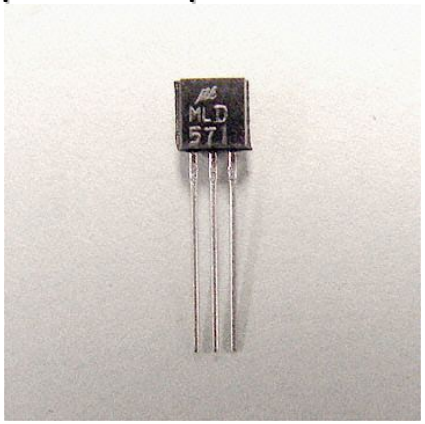
La scoperta del transistor

1939	Shockley: dispositivo amplificatore basato su semiconduttore
1940	primo fotodiodo basato su di una giunzione p/n in silicio
1945	Riparte il progetto sui semiconduttori dei laboratori Bell
1947	Invenzione del Transistor (Bardeen, Brattain, Shockley)
1948	prima radio a transistor
1949	Shockley propone il transistor bipolare a giunzione
Ottobre 1951	Western Electric : primi transistor commerciali
1954	Texas Instrument produce la prima radio basata su transistor....è un disastro commerciale perchè troppo costosa.
1956	Bardeen, Brattain e Shockley ricevono il premio Nobel per la scoperta del Transistor.



Il primo transistor …

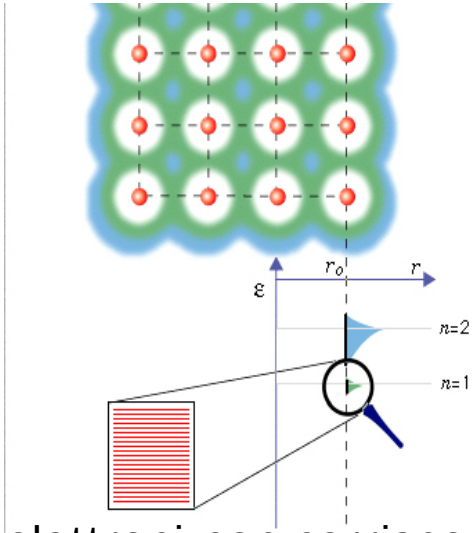
… ed uno di oggi



elettroni e lacune

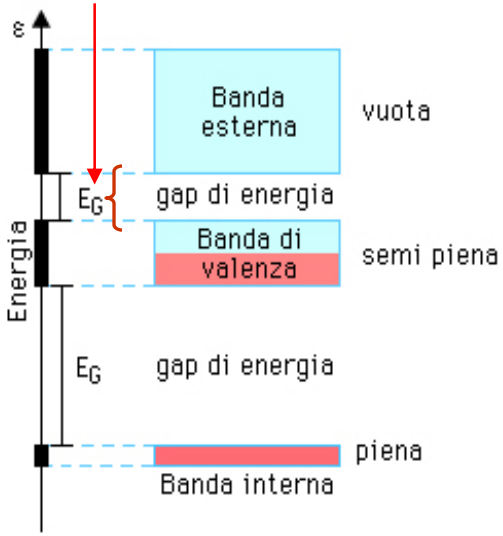
- La configurazione elettronica di un solido a temperature diverse dallo zero assoluto è in generale diversa da quella corrispondente allo stato fondamentale.
- Nei semiconduttori ad esempio, per effetto della temperatura può accadere che la banda di valenza non sia completamente occupata.
- A livello pittorico possiamo immaginare che in un livello non occupato della banda di valenza sia presente una particella immaginaria, detta "buca" o "lacuna".
- Una delle conseguenze inaspettate della teoria delle bande è che questa "particella" si comporta come se avesse carica elettrica positiva: sotto l'azione di un campo elettrico esterno accelera nello stesso verso del campo elettrico applicato.

Proprieta' fisiche della materia
Bande di energia



Nella formazione dei solidi, gli orbitali atomici si fondono a formare orbitali cristallini, estesi a tutto lo spazio occupato dal solido. Gli elettroni di valenza nei solidi, dunque, non sono più legati ai singoli atomi, ma sono delocalizzati.

Larghezza banda : qualche eV



A questi elettroni non corrispondono più singoli livelli discreti di energia, ma moltissimi livelli con valori vicinissimi l'uno all'altro, ossia distribuiti in modo quasi continuo in un certo intervallo dell'energia. A questa distribuzione si dà il nome di banda di energia.

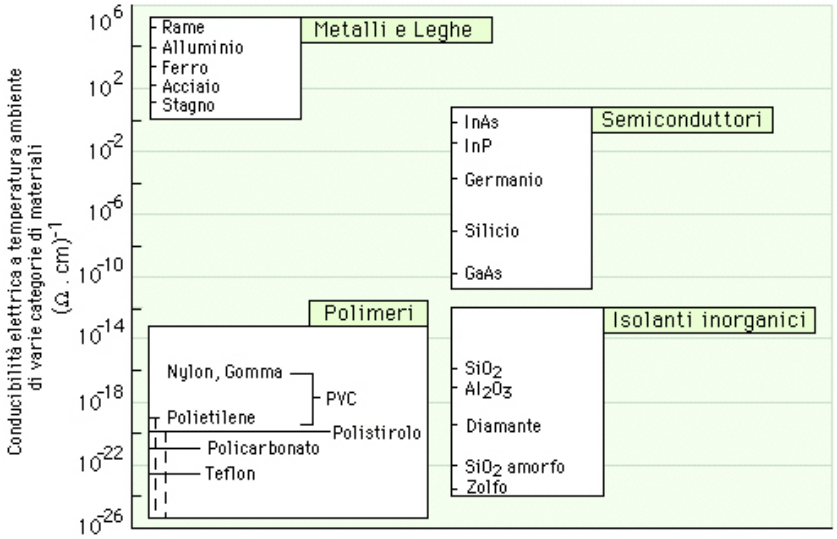
Le varie bande possono essere separate da intervalli di energia proibiti, che non possono essere occupati da alcun elettrone.

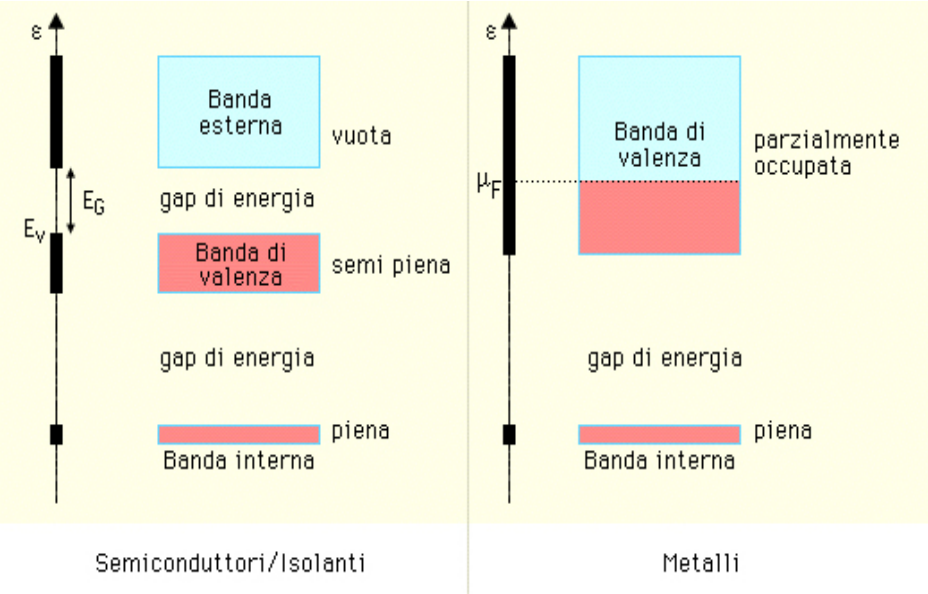
Proprietà dei semiconduttori

Passando da un materiale ad un altro, σ può variare di molti ordini di grandezza:

- superconduttori: σ infinita, per $T < T_c$ (temperatura critica)
- metalli: $\sigma \approx 10^{6} \div 10^{4}\ (\Omega.\mathrm{cm})^{-1}$
- semiconduttori: $\sigma \approx 10^{3} \div 10^{-6}\ (\Omega.\mathrm{cm})^{-1}$ (a temperatura ambiente)
- isolanti: $\sigma \approx 10^{-10} \div 10^{-20}\ (\Omega.\mathrm{cm})^{-1}$

L'enorme variazione di σ dipende dalla configurazione elettronica dello stato fondamentale del cristallo.





in conclusione…

con il passare delle epoche, dall’antichità ai nostri giorni, sempre più i progressi nel nostro vivere quotidiano nascono dai laboratori scientifici.

"That's all Folks!"