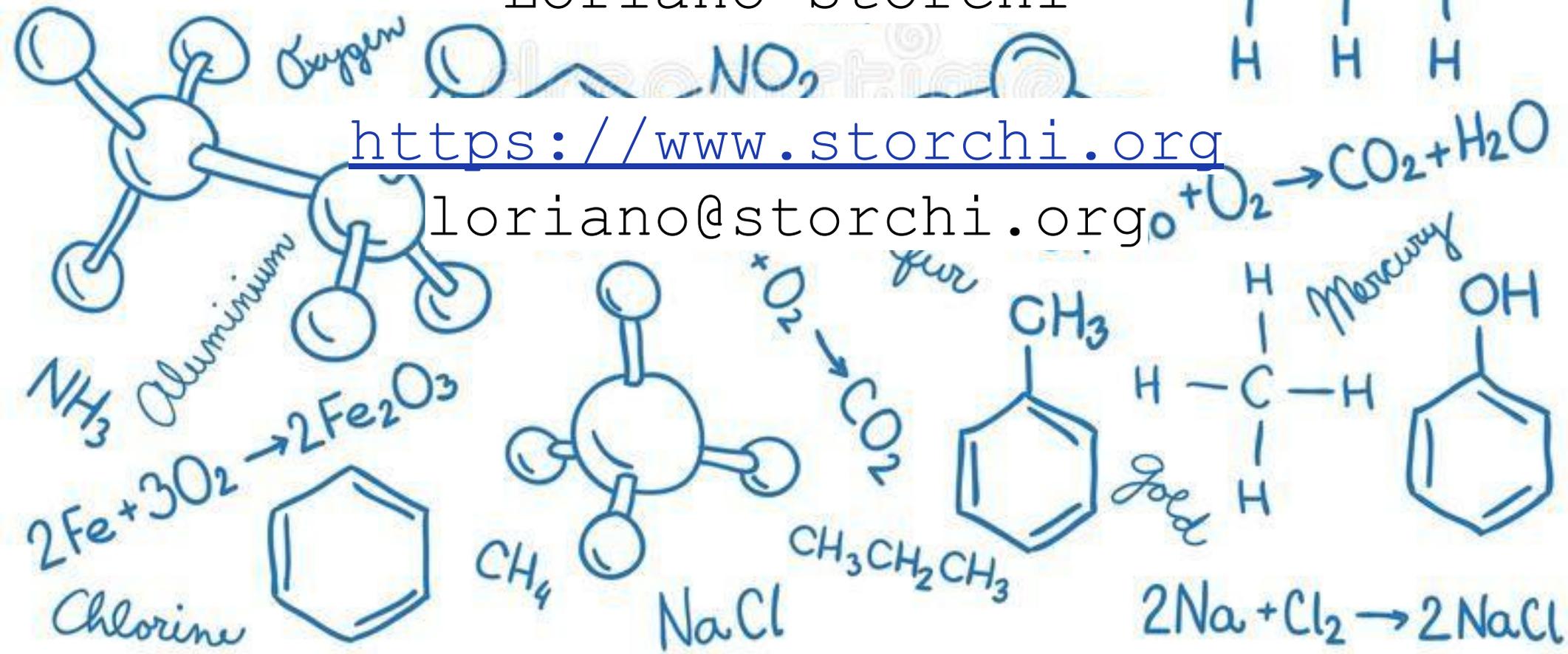
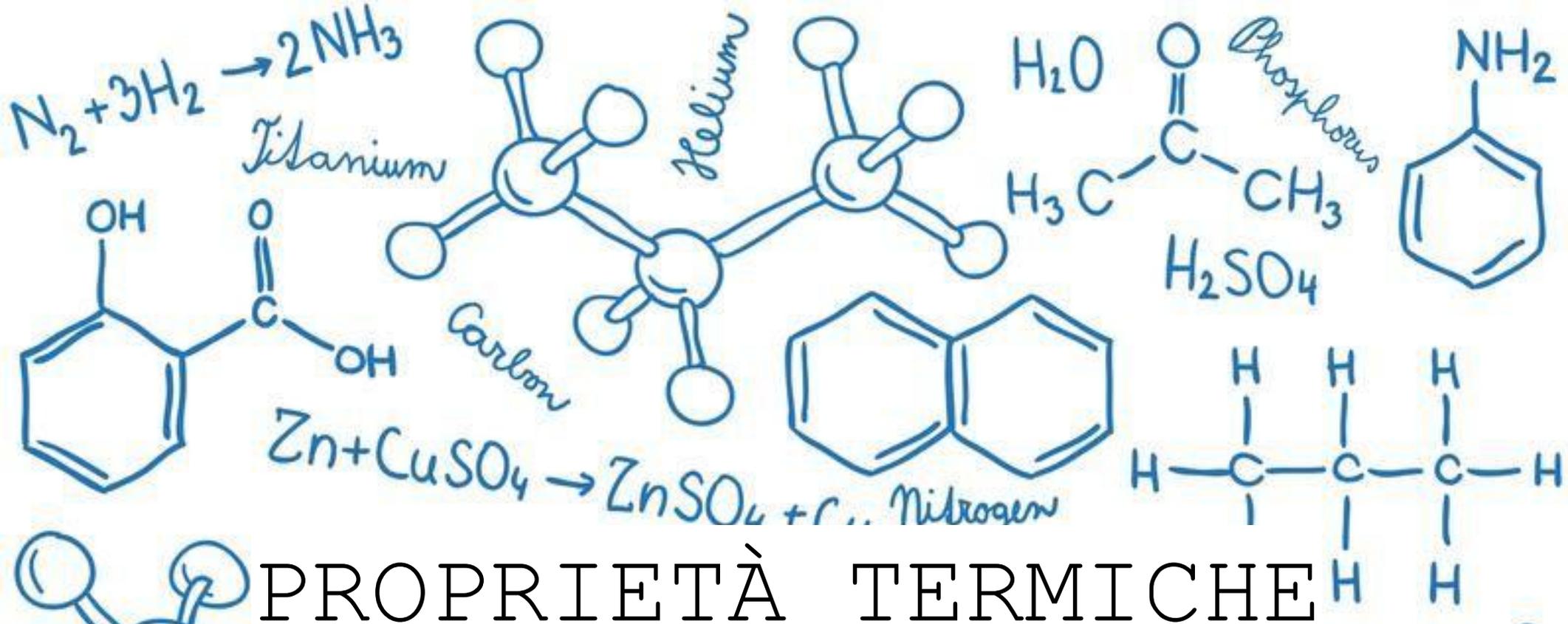


Loriano Storchi

<https://www.storchi.org>

loriano@storchi.org





Capacità termica

Misura la capacità di un materiale di assorbire calore, quindi unità di energia richiesta per produrre l'aumento di unità di temperatura

$$C = dQ/dT$$

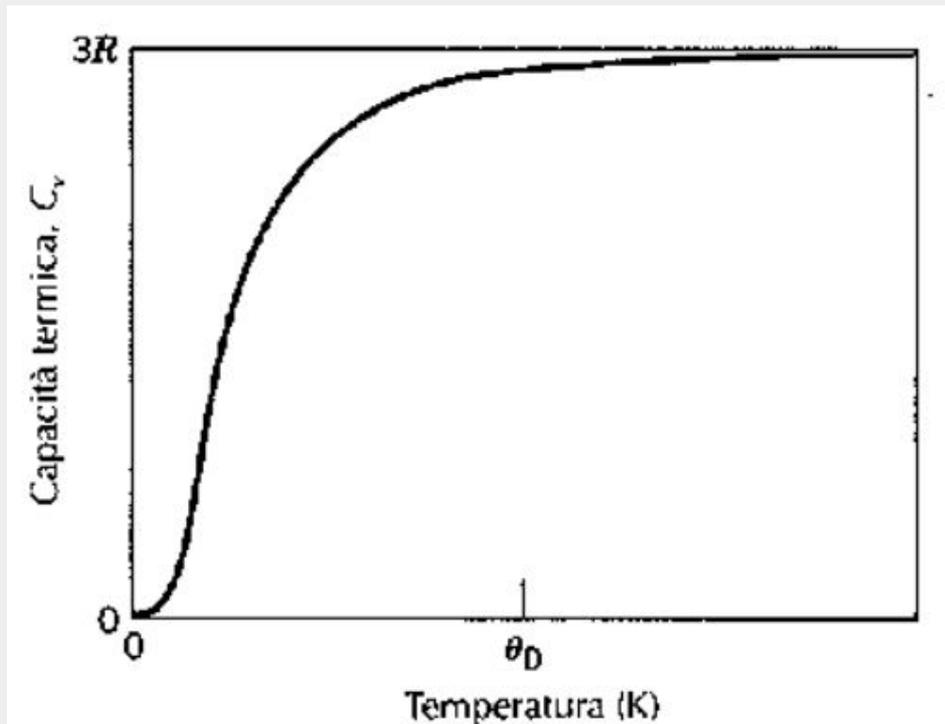
dove appunto dQ è l'energia richiesta per produrre un aumento dT della temperatura.

Calore specifico = capacità termica per unità di massa

C_p e C_v = capacità termica a pressione o volume costante, nei solidi è praticamente identica anche se in generale $C_p > C_v$ sempre

Capacità termica

- Per i solidi il modo principale di assorbire calore e' quello di aumentare l'energia vibrazionale
 - **Vibrazioni che sono "onde" che attraversano tutto il solido**
- Con l'aumento della T la capacita' termica aumenta grazie alla capacita' delle onde del reticolo di aumentare la loro energia media

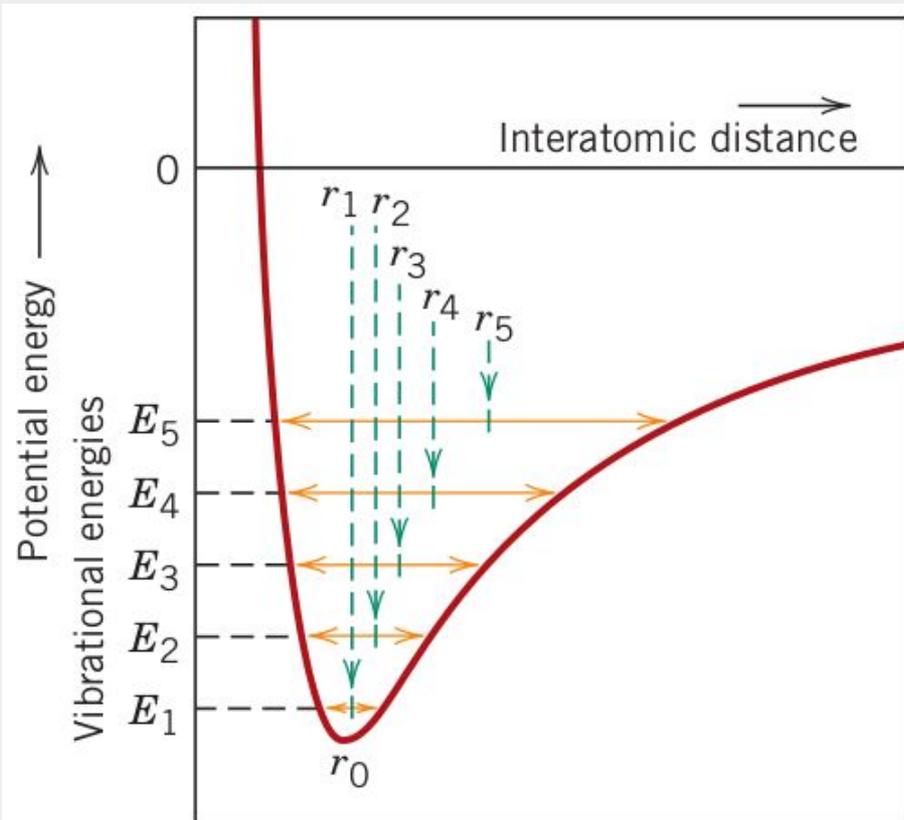


Ci sono **altri modi** in cui un solido puo' **assorbire energia**, a parte le vibrazioni quello principale e' il **contributo elettronico degli elettroni liberi di muoversi**
Nei metalli gli elettroni vicini al livello di fermi

Espansione termica

I Materiali quando la temperatura aumenta si espandono a causa, appunto, del passaggio a stati vibrazionali piu' alti

Forza del legame = profondita' della buca → buche piu' profonde espansioni minori



Aumento temperatura = aumento volume del materiale

I ceramici hanno espansione asimmetrica lungo le varie direzioni del reticolo cristallino

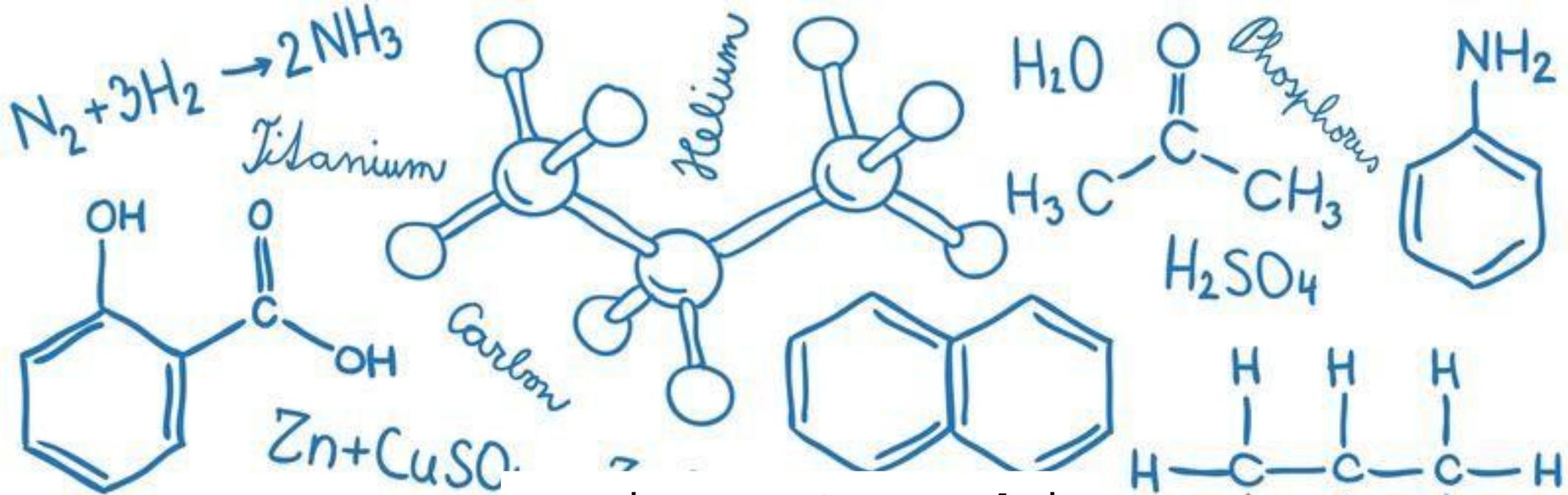
Propagazione del calore

Il calore si **propaga nel materiale** secondo due principali meccanismi:

- **trasportato dalle onde di vibrazione del reticolo (fononi = controparte quantistica della scomposizione dei moto di vibrazione in vibrazioni elementari cioè modi normali)**
- **Moto degli elettroni liberi** , a temperature maggiori possiedono maggiore energia cinetica, e quindi si muovono verso le zone piu' fredde

Propagazione del calore

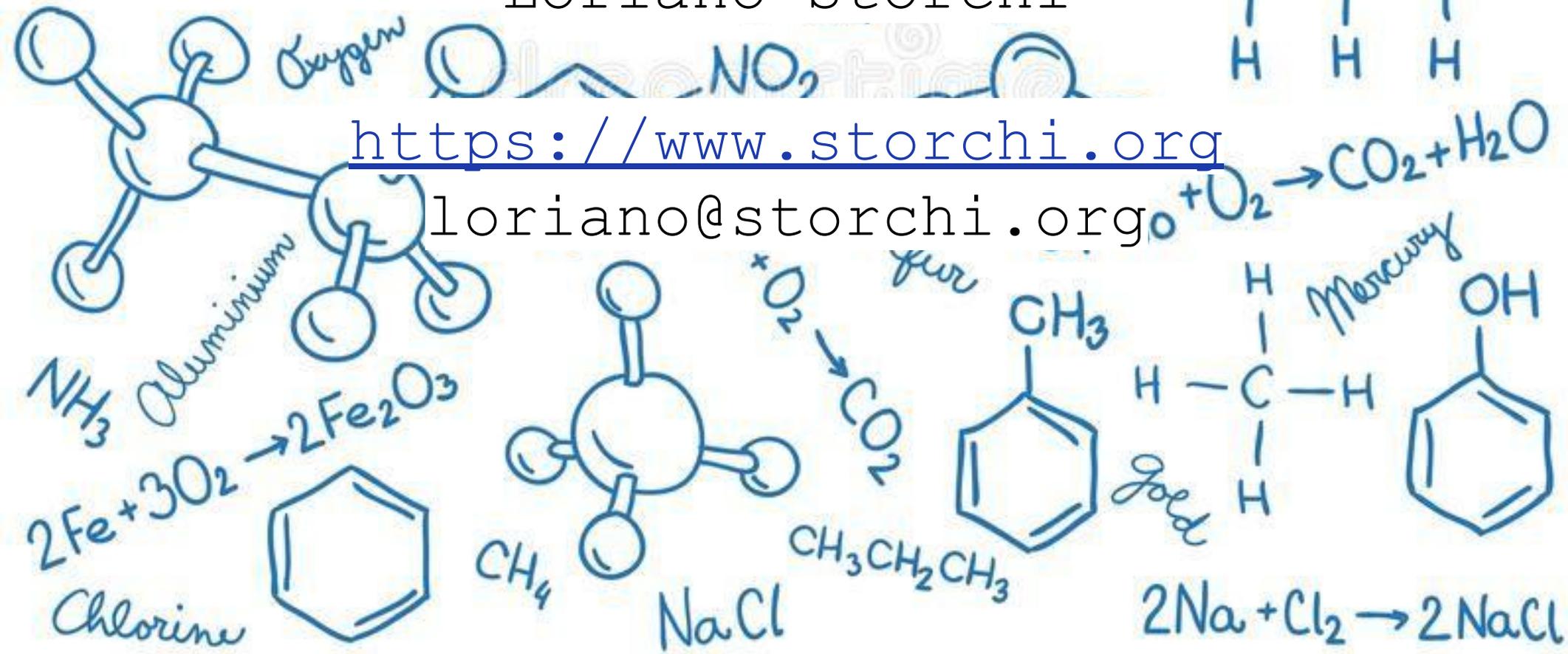
- **Metalli = componente elettronica piu' importante, elettroni piu' veloce e dissipano meno rapidamente l'energia (dal 10 a 200 W/mK)**
- **Ceramici = componente principale del trasporto i fononi (elettroni poco mobili) di fatto sono termicamente isolanti . Quelli piu' porosi sono maggiormente isolanti (da 1 a 10 W/mK)**
- **Polimeri = trasferimento dato dalle vibrazioni e dalle rotazioni delle catene . Un polimero cristallino miglior conduttore di uno amorfo a causa della piu' efficace vibrazione coordinata delle catene. Anche qui, come nei ceramici, si possono introdurre piccoli pori (da 0.1 a 1 W/mK)**

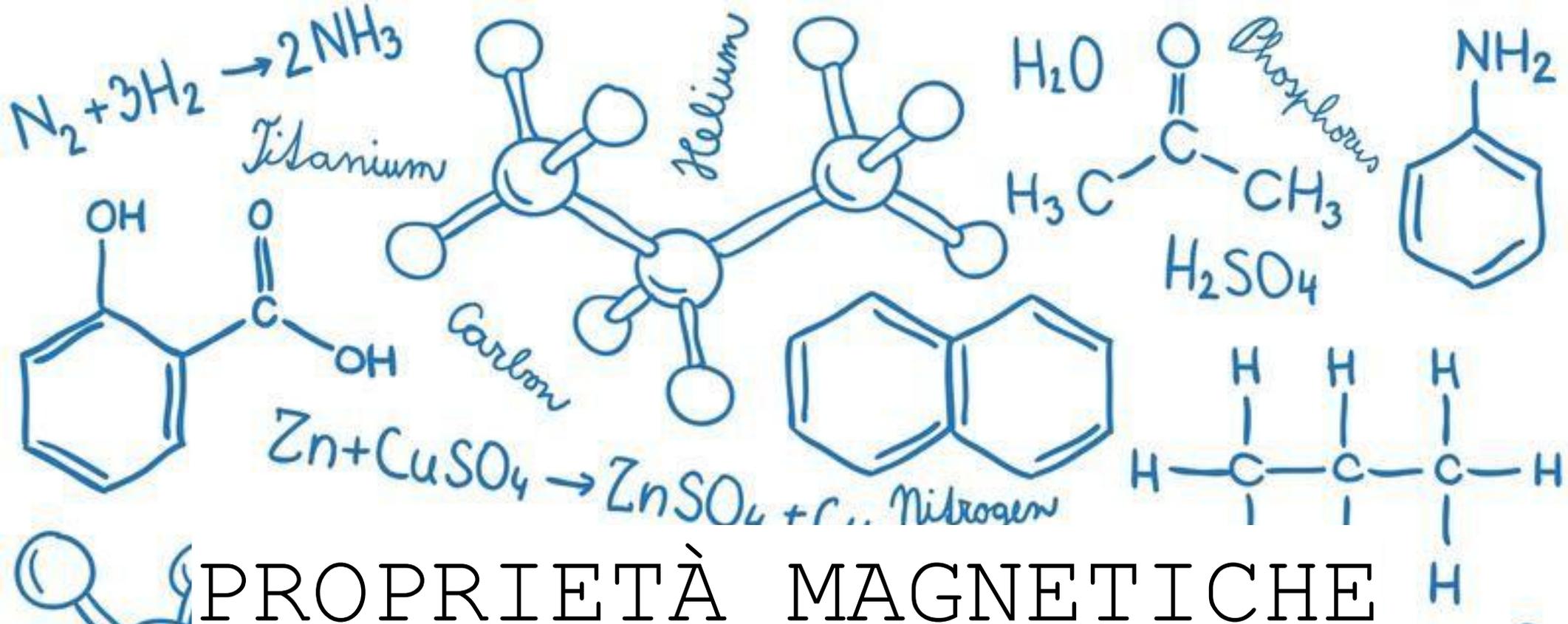


Loriano Storchi

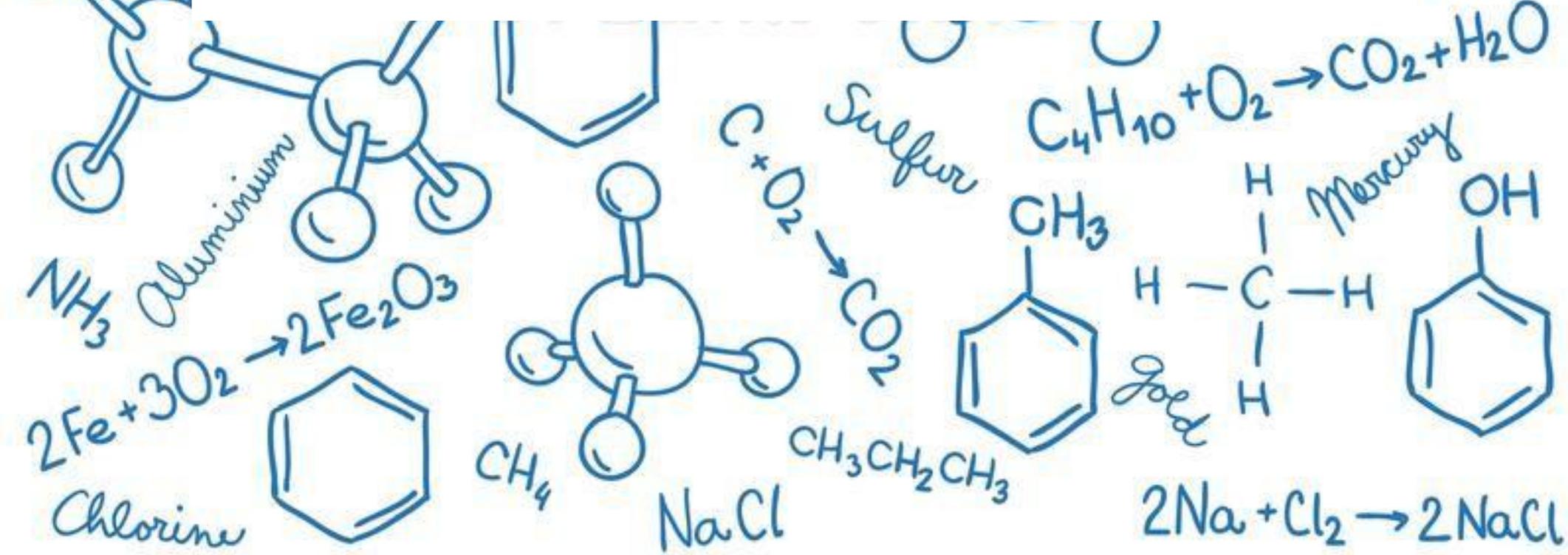
<https://www.storchi.org>

loriano@storchi.org





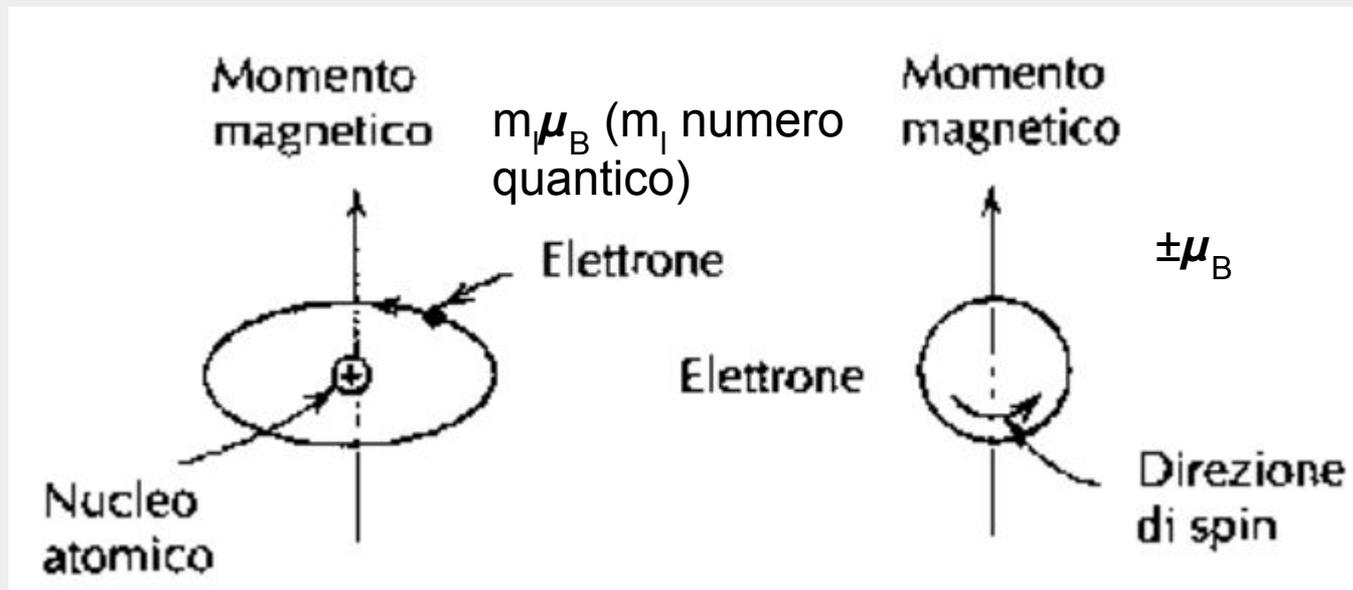
PROPRIETÀ MAGNETICHE



Dipoli magnetici

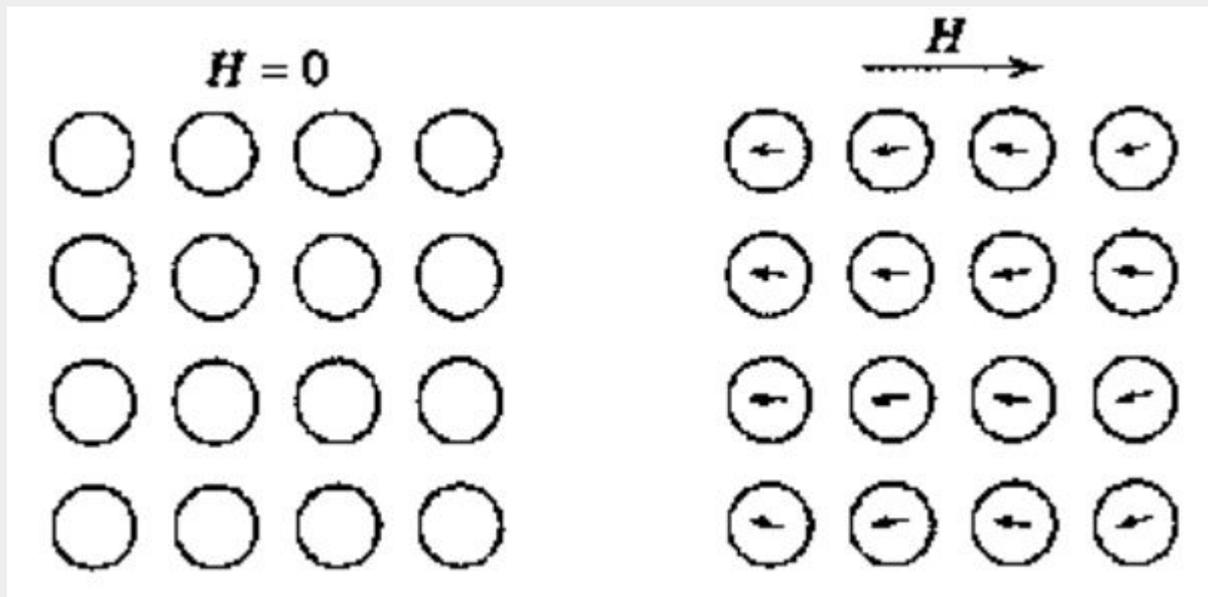
L'origine dei **momenti magnetici dei materiali e' collegata ai momenti magnetici associati agli elettroni**

- Senza richiamare concetti di meccanica quantistica possiamo dire che l'elettrone ha un momento magnetico di spin e di rotazione intorno al nucleo (magnetone di Bohr $\mu_B = 9.27 \cdot 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$). **Il momento magnetico totale sara' dato dalla somma dei momenti dei singoli elettroni**



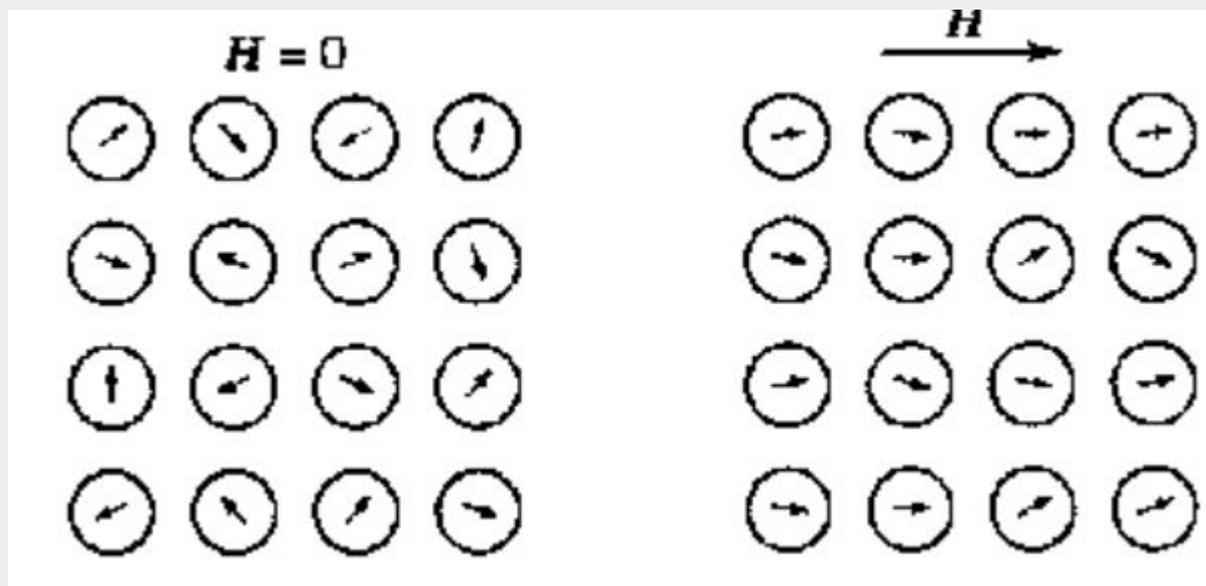
Diamagnetici

- **Materiali diamagnetici = la suscettività magnetica e' negativa, cioè il valore del campo B all'interno del materiale e' inferiore a quello nel vuoto. I materiali sono attratti verso regioni con campo minore. Non ci sono momenti di dipolo permanenti ma il campo applicato induce una distorsione del moto elettronico**



Paramagnetici

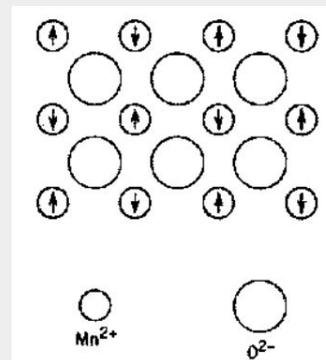
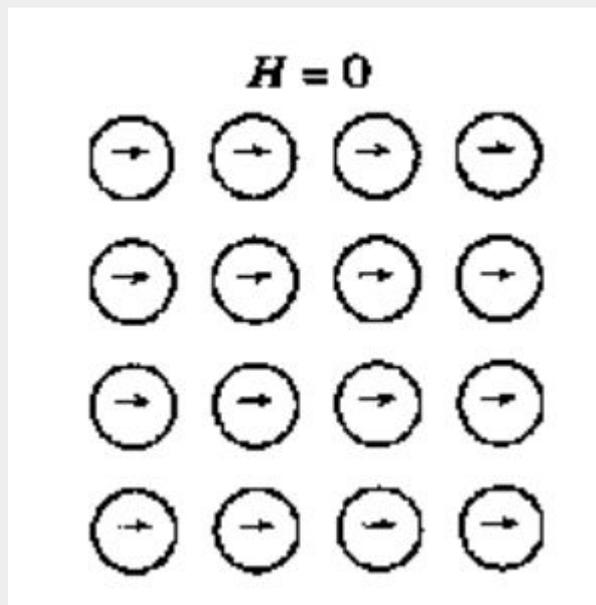
- **Materiali paramagnetici = Ogni atomo ha un ,momento di dipolo permanente diverso da zero. L'applicazione del campo magnetico orienta i momenti di dipolo. Orientandosi nel verso del campo esterno aumentano il campo magnetico nel materiale , quindi suscettività magnetica positiva (piccola in generale)**



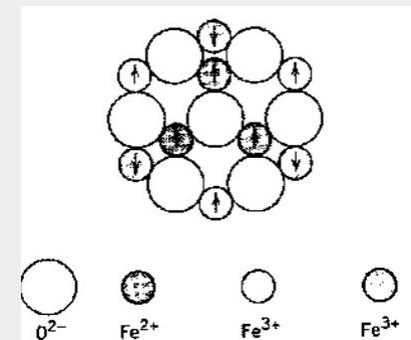
Ferromagnetici (Antiferromagnetismo e ferrimagnetismo)

- **Ferromagnetismo = materiali che possiedono un momento magnetico permanente in assenza di un campo magnetico esterno.** I vari momenti magnetici risultano allineate così' da contribuire ad un momento magnetico complessivo diverso da zero anche in assenza di campo esterno

Antiferromagnetismo: ci sono atomi o ioni con momento magnetico diverso da zero, ma posti in modo tale che i momenti magnetici si annullano esattamente l'uno con l'altro



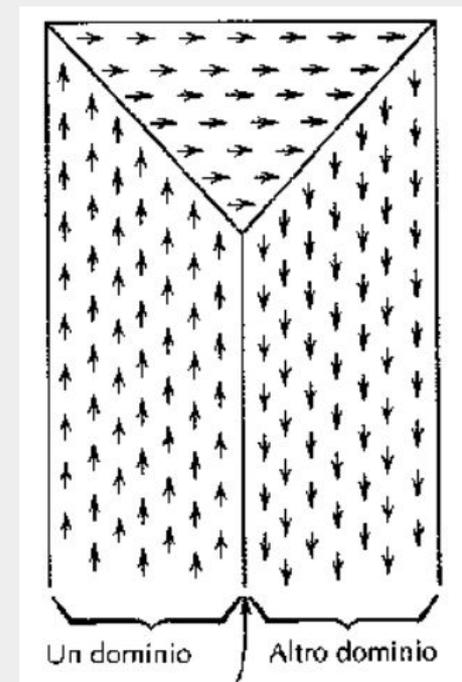
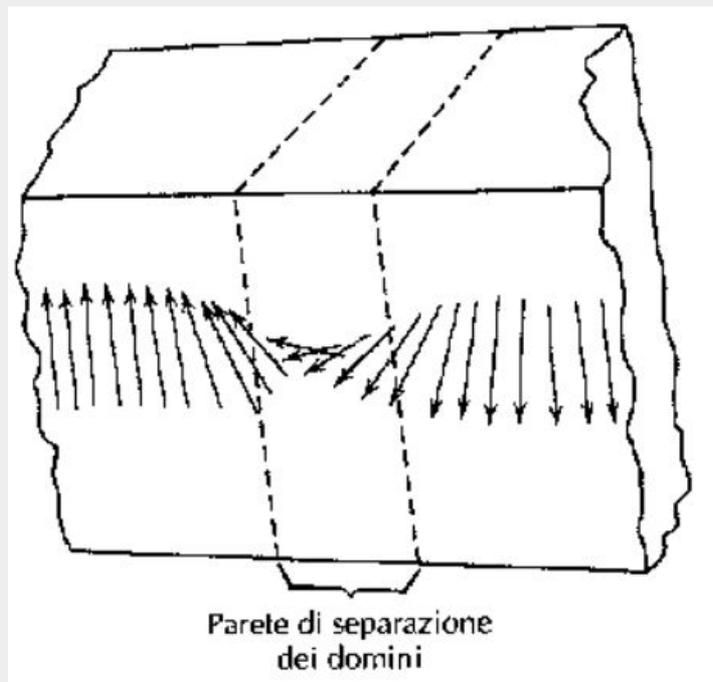
Antiferromagnetico
 MnO



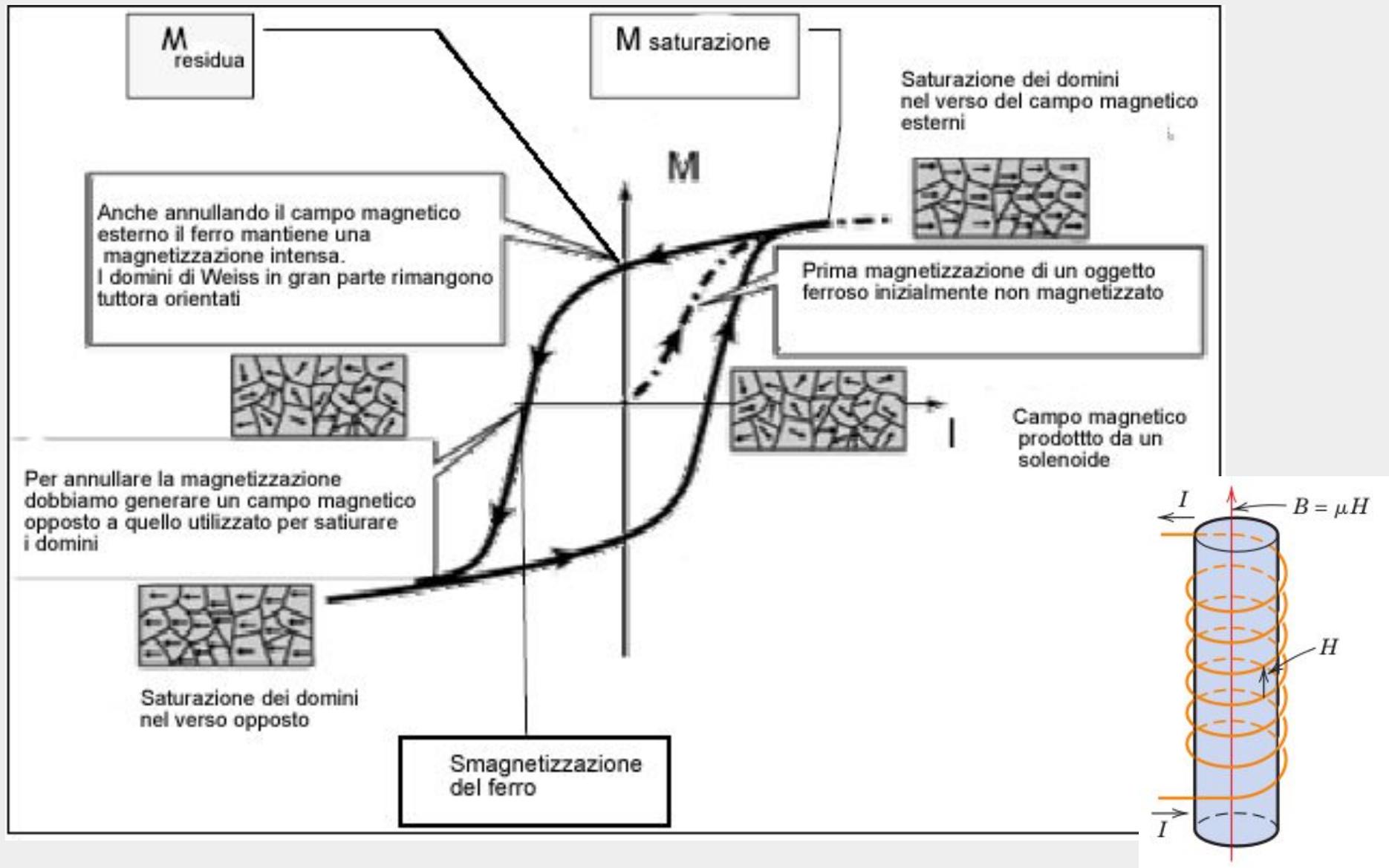
Ferrimagnetismo: Fe_3O_4 (magnetite minerale I momenti di Fe^{3+} si annullano quelli di Fe^{2+} no sono tutti paralleli

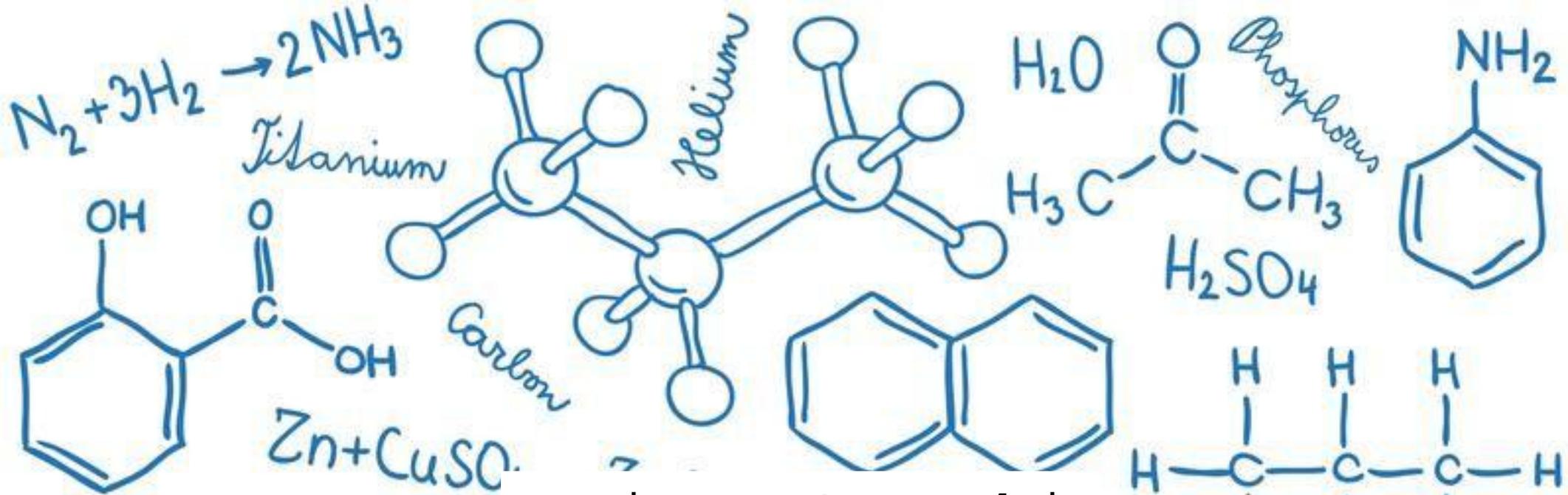
Effetto della temperatura ed isteresi magnetica

La temperatura aumenta l'agitazione termica e questo porta ad un "disaccoppiamento" dei momenti magnetici e quindi ad una perdita completa delle proprietà magnetiche a T maggiori della T di Curie. Ogni materiale Ferromagnetico, a T inferiori alla T di Curie, è formato da regioni in cui i dipoli sono accoppiati (domini) separati da zone di passaggio.



Effetto della temperatura ed isteresi magnetica

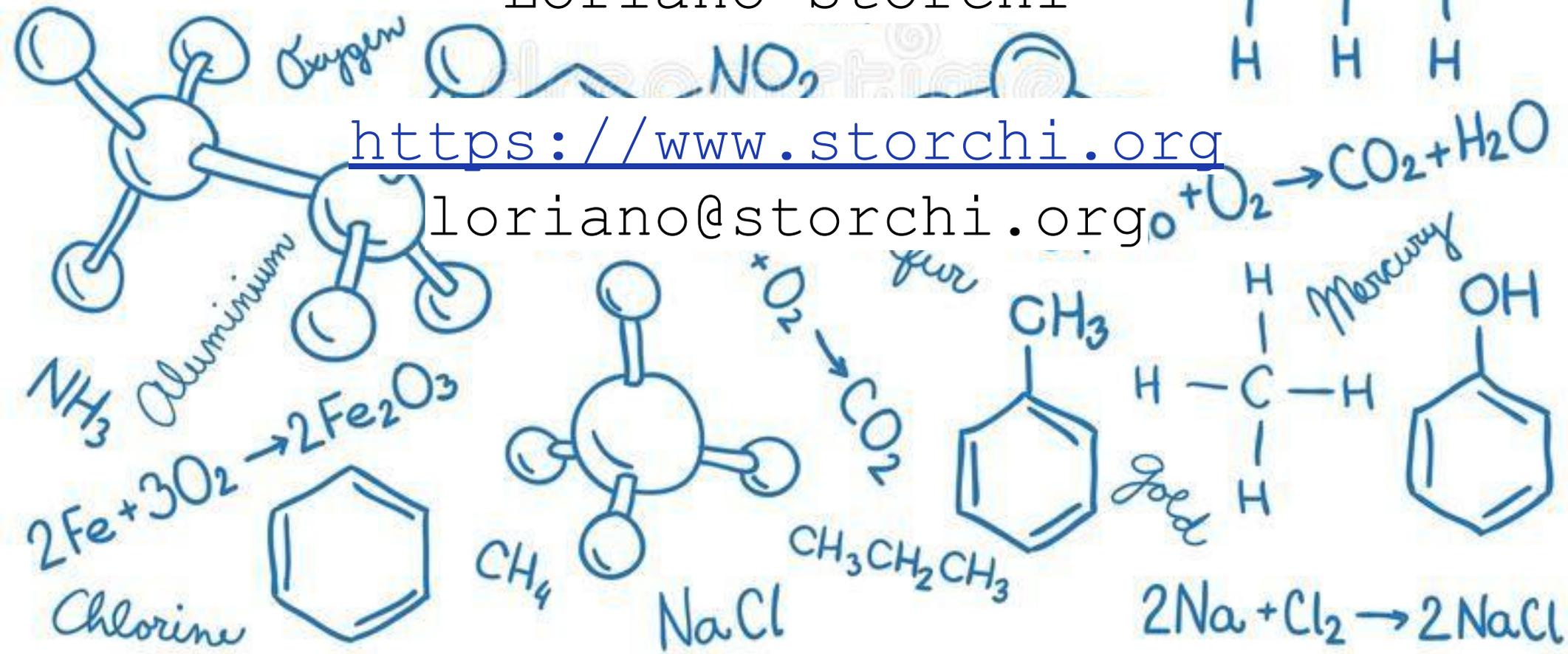


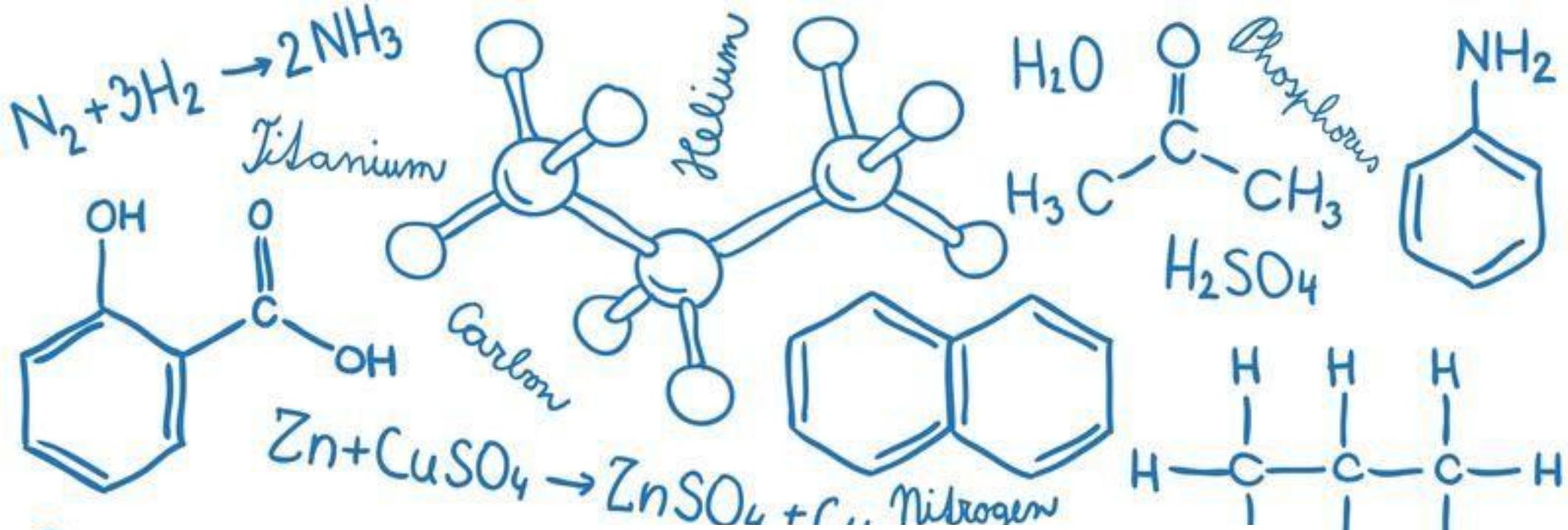


Loriano Storchi

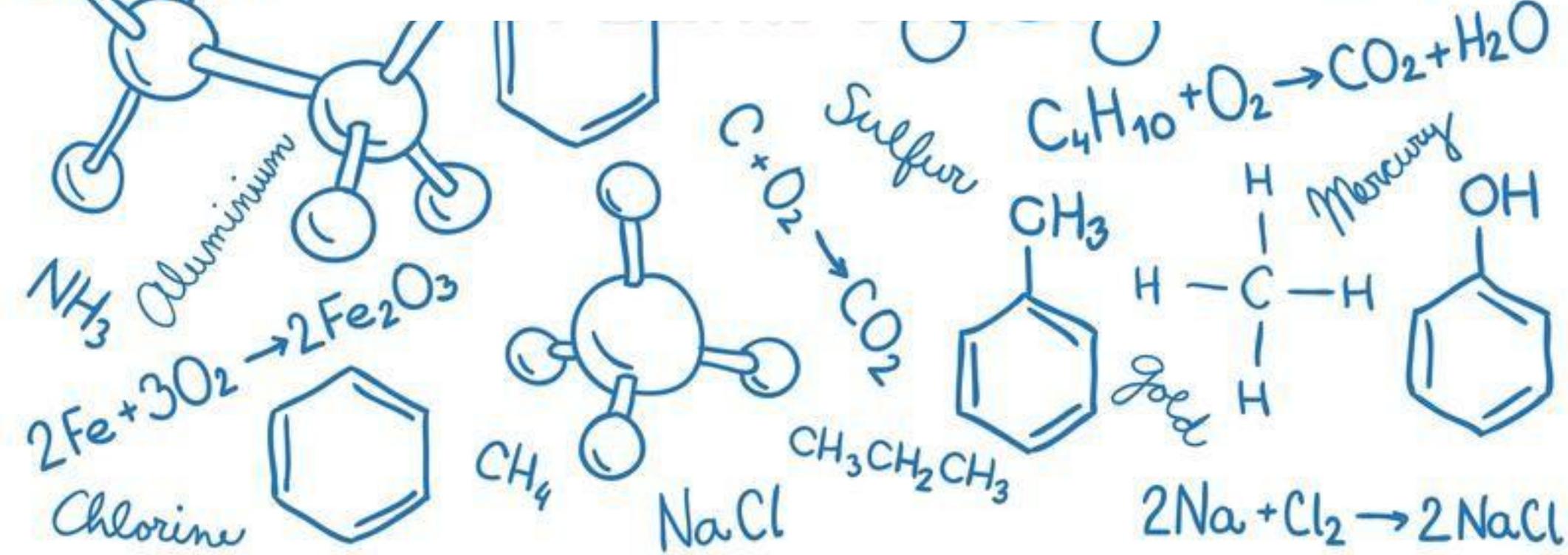
<https://www.storchi.org>

loriano@storchi.org





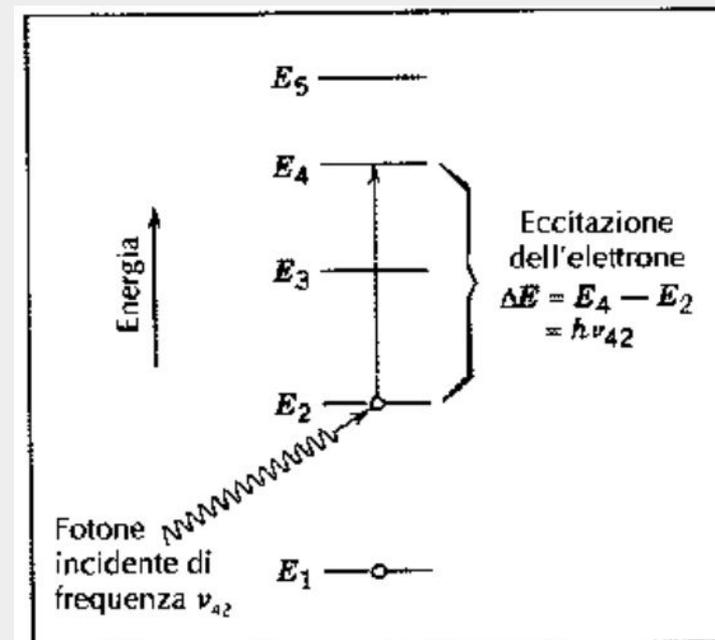
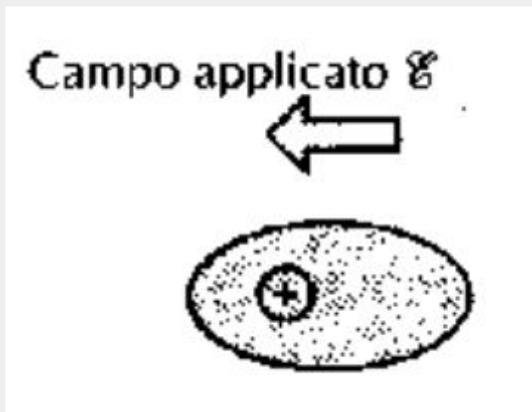
PROPRIETÀ OTTICHE



Interazione "luce" con gli atomi

Una radiazione luminosa (visione classica) e' un'onda costituita da un campo elettrico ed uno magnetico che oscillano, quando interagisce con la materia, in particolare con gli elettroni:

- Polarizzazione della nube elettronica ed il risultato puo' essere assorbimento di parte dell'energia (passaggio di stato) o passaggio attraverso il mezzo ma con velocita' rallentata



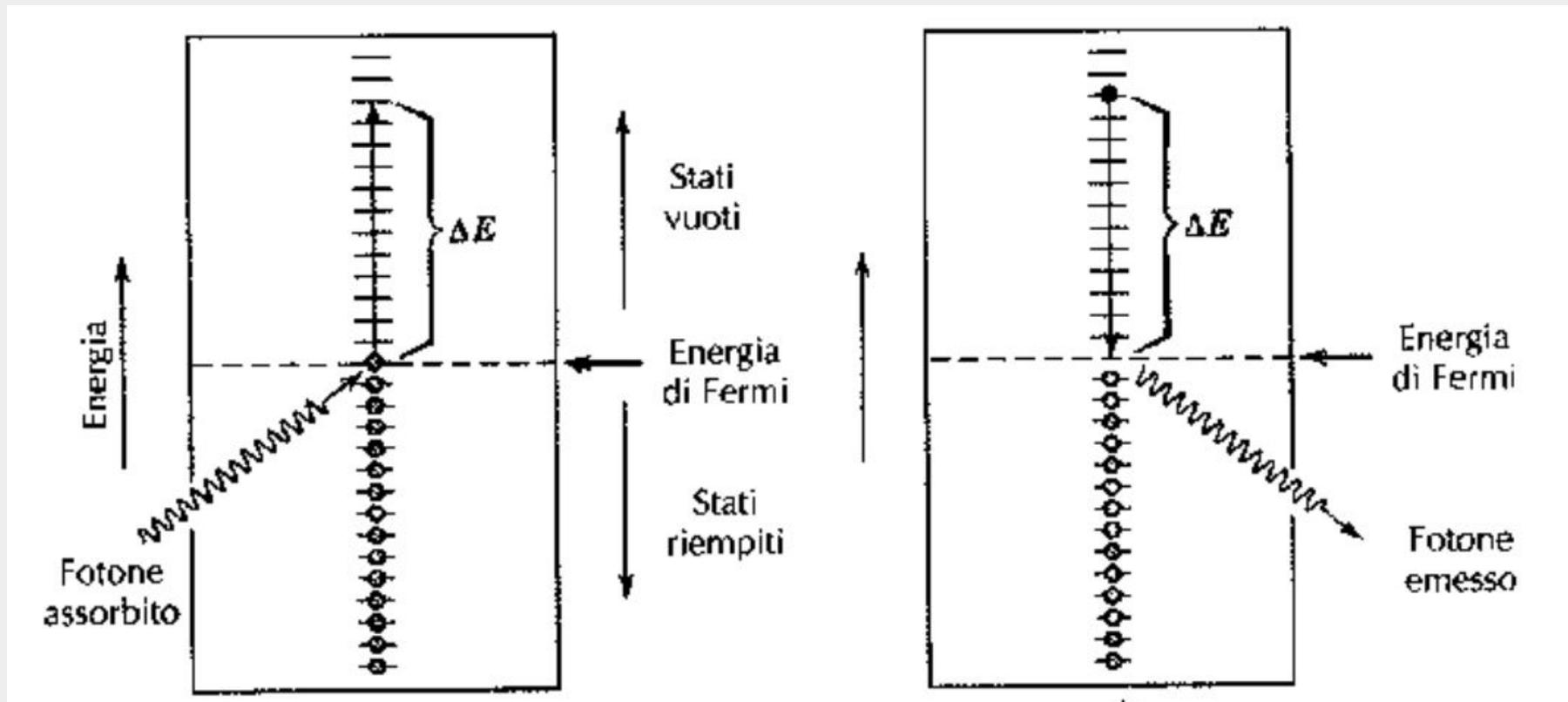
Proprietà ottiche dei metalli

Proprietà ottiche dei metalli: I metalli dato una banda di energia praticamente continua sono in grado di assorbire tutte le lunghezze d'onda della luce visibile (sono opachi alla luce visibile no a raggi x o γ).

- **L'elettrone eccitato poi deve disperdere l'energia assorbita in qualche modo**
 - **l'elettrone ritorna nello stato fondamentale ed emette una radiazione della stessa lunghezza d'onda di quella assorbita**
 - **Alcune radiazioni possono invece non essere riemesse perché l'energia viene dissipata termicamente**
 - **Argento ad esempio riflette molto bene, il rame è colorato perché alcune frequenze (colori) non sono riflessi**

Proprietà ottiche dei metalli

L'assorbimento avviene entro $0.1 \mu\text{m}$ (10^{-6}) quindi fogli sottili possono trasmettere la luce (trasparenti)



Proprietà ottiche dei non-metalli

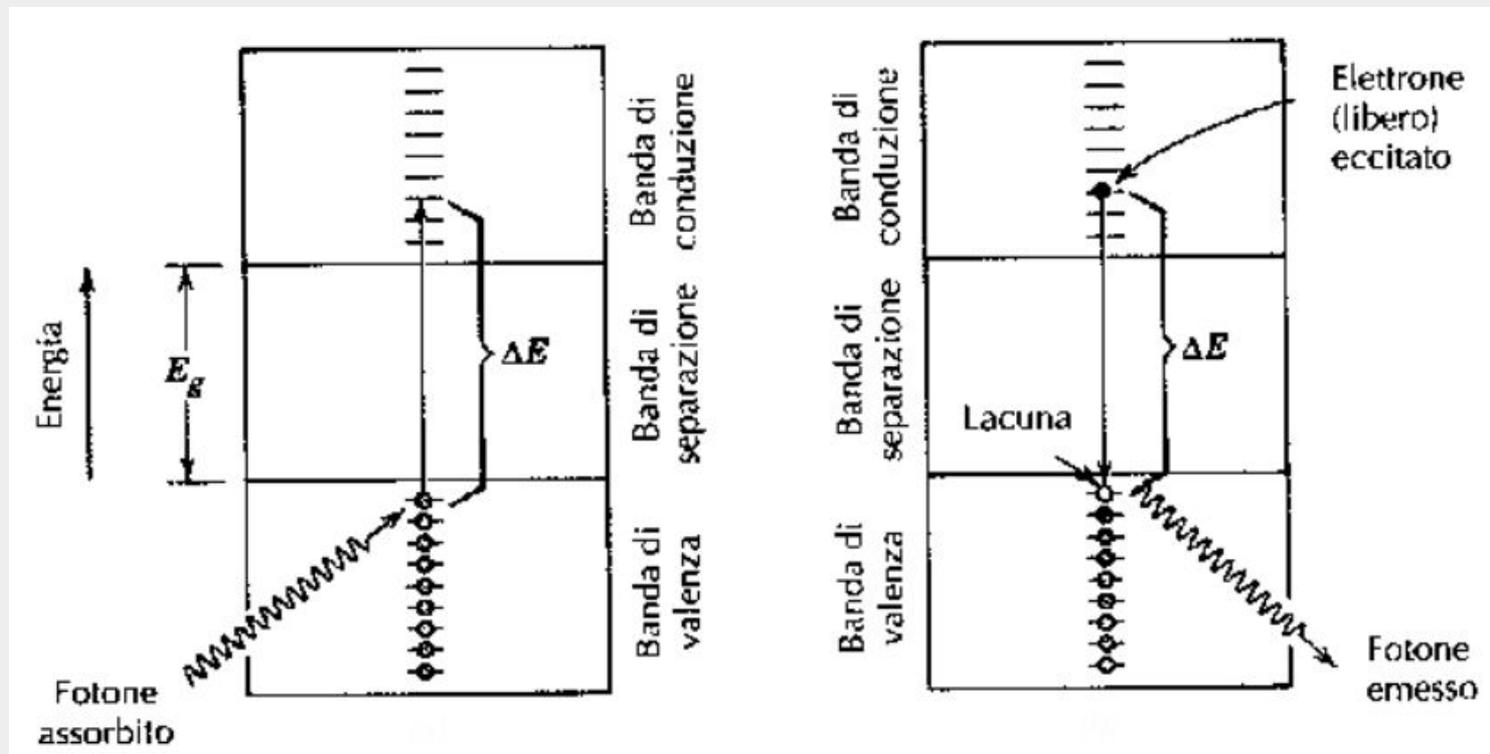
I non metalli possono essere trasparenti alla luce visibile

RIFRAZIONE: la luce passa attraverso ma ha una velocità diversa (effetto della polarizzazione)

- **Indice di rifrazione $n = c/v$ dove v = velocità della luce nel materiale che dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione (separazione dei colori)**
- **Ovviamente v dipende dalla costante dielettrica della sostanza, come detto di base la diminuzione della velocità è un effetto della polarizzazione elettronica**
- **Atomi più grandi sono più polarizzabili, è facile quindi capire che n dipende dalla dimensione degli atomi/ioni presenti**
 - **Atomi/ioni più grandi n più grande**
 - **n può essere asimmetrico, più grande nella direzione con più atomi/ioni**

Proprietà ottiche dei non-metalli

ASSORBIMENTO: per polarizzazione elettronica solo se la frequenza e' vicina a quella di rilassamento. Altrimenti si ha assorbimento per passaggio dell'elettrone dalla banda di valenza a quella di conduzione. Ricordando le bande dei semiconduttori o isolanti.

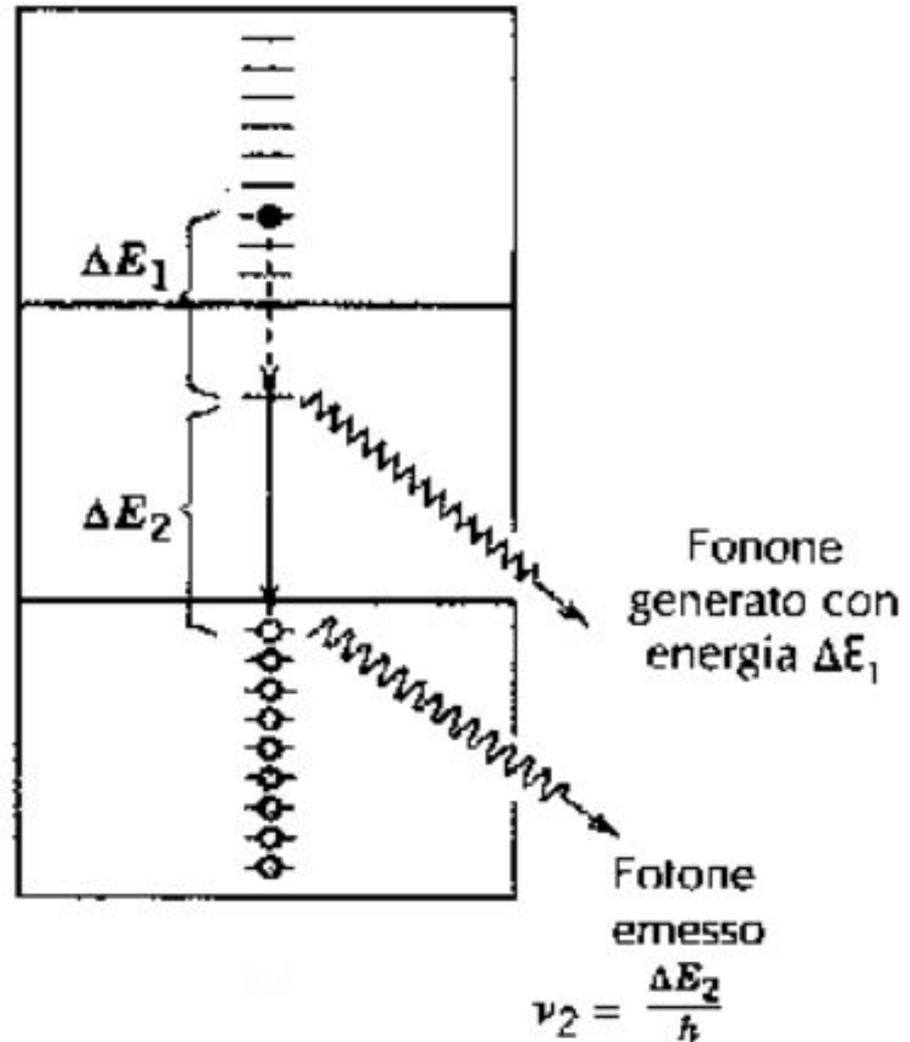
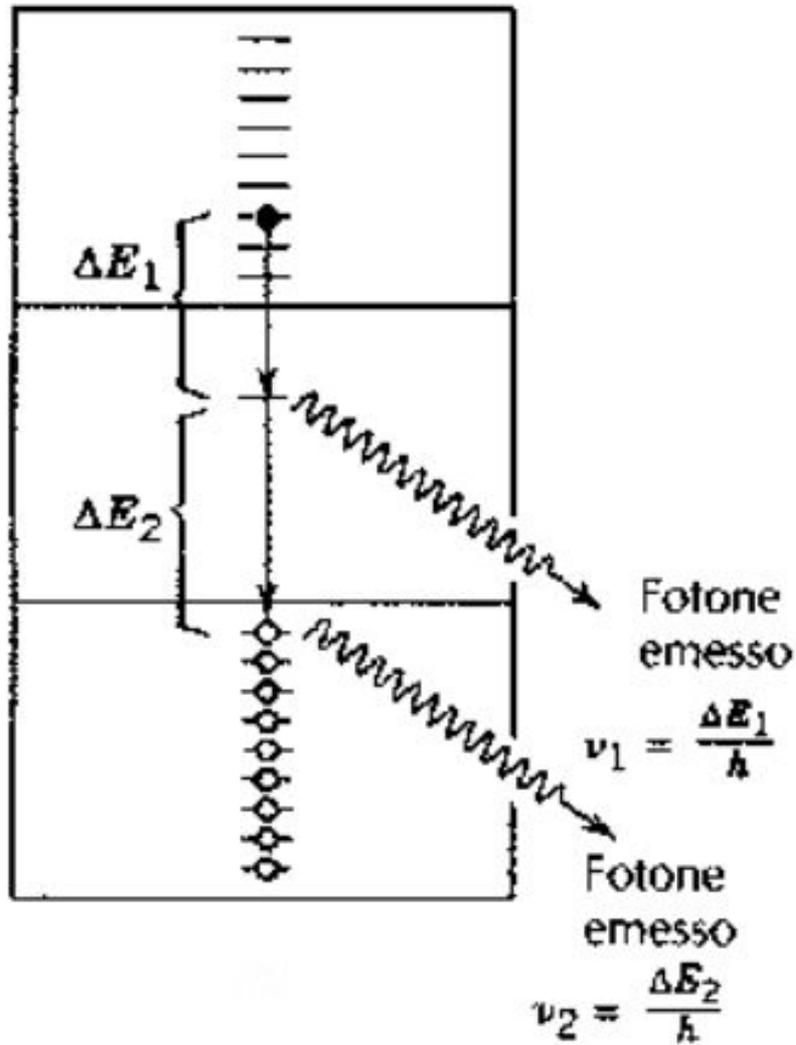


Proprietà ottiche dei non-metalli

ASSORBIMENTO: Date le lunghezze d'onda coinvolte, e quindi le energie, se i band gap sono superiori a 3 eV i materiali, se puri, appaiono trasparenti.

- **dipendentemente dal band gap posso avere assorbimento solo di determinate lunghezze d'onda e quindi avro' materiali colorati**
- **Se ci sono impurezze posso avere livelli intermedi che possono contribuire a due meccanismi di rilassamento (colore):**
 - **Emissione di due fotoni con lunghezza d'onda diversa da quella del fotone assorbita**
 - **Un primo rilassamento termico (emissione di fonone) seguito da un rilassamento con emissione fotonica**

Proprietà ottiche dei non-metalli



Proprietà ottiche dei non-metalli

Due esempi:

1. Solfuro di Cadmio (CdS) ha un **band gap di 2.4 eV**, quindi **tutti i fotoni con $h\nu > 2.4 \text{ eV}$ vengono assorbiti (luce blu) e in parte riemessi come fotoni di altre lunghezze d'onda**. La parte più bassa dello spettro non viene assorbita e quindi il CdS è **giallo-arancio**
2. Zaffiro puro (ossido di Alluminio Al_2O_3) incolore. Se aggiungo ossido di cromo (Cr_2O_3) il Cr^{3+} sostituisce lo ione alluminio nel reticolo, e introduce livelli nel band gap. La **luce viene assorbita come passaggio banda di valenza a banda di conduzione ma poi nella riemissione, a causa dei livelli intermedi avremo un colore diverso.**