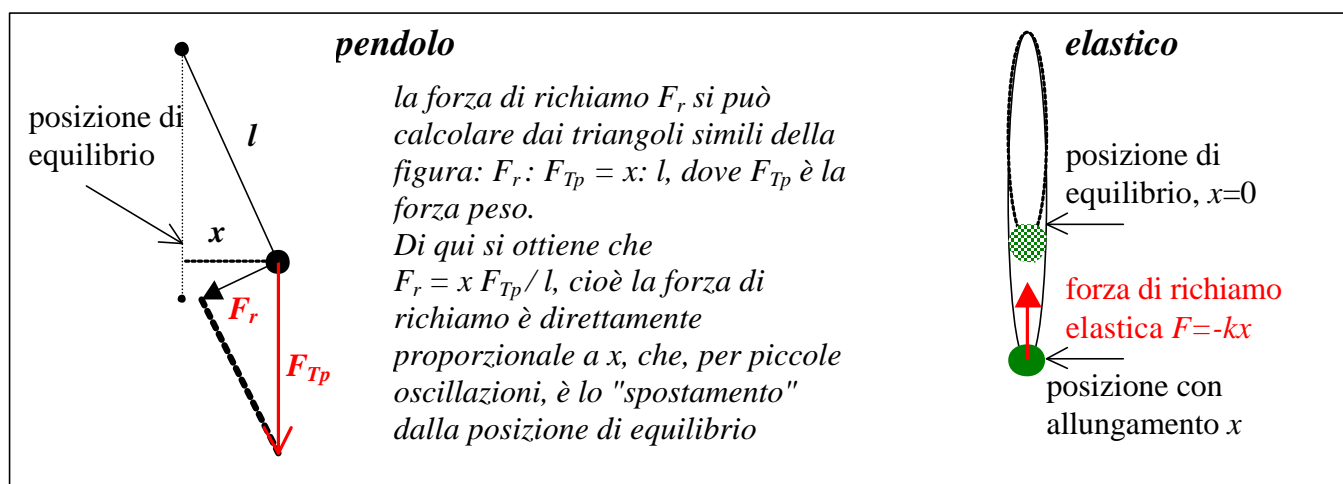


## 5. Oscillazioni, onde e campi

### 5.1 Oscillazioni

- La forza di richiamo "elastica" verso la posizione di equilibrio
- esempi: pendoli, molle ed elastici;
- la forza è, in prima approssimazione, proporzionale allo spostamento e diretta verso la posizione di equilibrio;
- la forza di richiamo dipende dalle caratteristiche dell'oggetto e dell'interazione che la produce: è più chiara nel pendolo, in cui l'interazione è esterna, in quanto è l'interazione di gravità da parte della Terra, meno chiara nella molla in cui l'interazione è interna ed è dovuta al legame elastico fra gli atomi del solido, che si esplicita nella *costante elastica*  $k$ :  $F=-kx$ ;



- *L'energia nel moto oscillatorio*

Dipende dall'ampiezza dell'oscillazione.

- spostando il corpo dalla posizione di equilibrio, si immagazzina "energia potenziale di posizione", dovuta appunto al fatto che il corpo non è nella sua posizione di energia minima;
- nel suo moto l'energia di posizione si trasforma periodicamente in energia cinetica e viceversa;
- l'energia cinetica è massima quando il corpo passa per la posizione di equilibrio, è nulla nella posizione di massimo spostamento (elongazione) dall'equilibrio; l'opposto vale per l'energia di posizione;
- la somma di energia di posizione e di energia cinetica è l'*energia totale meccanica* che nel moto si conserva, a meno delle perdite per attriti.

- *Caratteristiche del moto oscillatorio*

- è un moto periodico, cioè un moto in cui si ritorna periodicamente alla stessa posizione;
- il *periodo*  $t$  del moto è legato da un lato alle *caratteristiche della forza di richiamo* e dall'altro alle *caratteristiche dell'oggetto che oscilla*. Ad es. nel pendolo  $t = 2\pi \sqrt{l/g}$  con  $g$  = accelerazione di gravità (caratteristica della forza di richiamo),  $l$  = lunghezza del pendolo,

(caratteristica del corpo che oscilla); nella molla  $t = 2\pi\sqrt{m/k}$  con  $k$  = costante elastica della molla (caratteristica della forza di richiamo),  $m$  = massa attaccata alla molla (caratteristica del corpo che oscilla). Nel pendolo si può cambiare solo la caratteristica del corpo che oscilla, allungando o accorciando il pendolo, nella molla si può cambiare sia la massa sia la costante elastica della molla. In entrambi i casi si ottiene l'effetto di cambiare il periodo di oscillazione

- nei moti oscillatori reali, il moto si discosta dalla stretta periodicità perché, a causa delle forze di attrito, il periodo tende ad allungarsi a ogni oscillazione fino a diventare praticamente infinito in presenza di un forte smorzamento;
- l'andamento nel tempo è tipicamente di tipo sinusoidale, sia per la forza che per la posizione che per la velocità;
- non tutti i moti periodici sono oscillatori: ad esempio un moto rotatorio come quello di un satellite o quello del pendolo conico non sono "oscillatori", perché la forza che li produce non è una forza di richiamo intorno a una posizione di equilibrio statico.

➤ *Le forze elastiche di richiamo sono importanti perché su di esse si basa*

- > la stabilità degli "stati condensati", cioè dello stato liquido e solido: la stabilità non è basata sul fatto che ogni atomo stia "rigidamente" in una posizione fissa, ma sul fatto che è richiamato alla posizione di equilibrio da una forza elastica,
- > la stabilità delle molecole nello stato gassoso: la stabilità non è basata sul fatto che ogni atomo della molecola stia "rigidamente" a una distanza fissa dagli altri, ma sul fatto che è richiamato alla posizione di equilibrio da una forza elastica;
- > in entrambi i casi, l'atomo oscilla intorno alla posizione di equilibrio con una ampiezza di oscillazione che dipende dall'*energia totale* che ha a disposizione, la quale a sua volta dipende dalla *temperatura* del corpo, sia esso solido, liquido o gassoso.

## 5.2 Onde

➤ *Caratteristiche del moto ondulatorio*

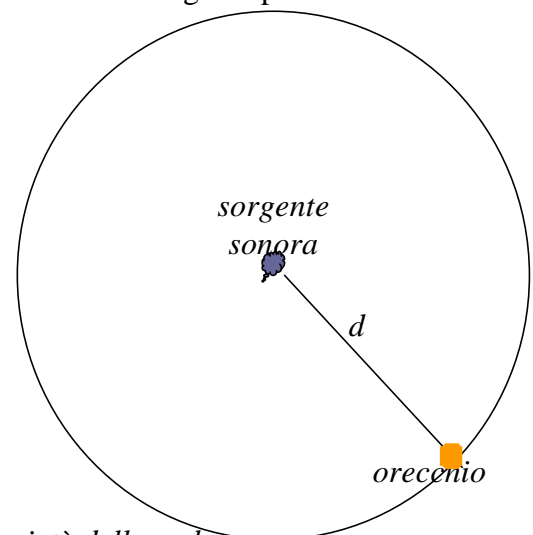
- in un'onda la perturbazione (oscillazione, vibrazione, ecc.) *si ripete periodicamente anche nello spazio*: spostandosi da un punto "A" a un certo altro punto "B" si trova che l'oscillazione nel punto B si ripete nel tempo nello stesso modo che nel punto A;
- la periodicità spaziale è la *lunghezza d'onda*, quella temporale è il *periodo*;
- l'onda *viaggia* nello spazio con una *velocità* che è pari al rapporto fra lunghezza d'onda e periodo; esempio il "la" ha una frequenza  $f$  di 400 Hz, la velocità  $v$  del suono nell'aria è 300 m/s, quindi  $\lambda = v/f \approx 75$  cm;
- un'onda che viaggia ha una ben definita *direzione di propagazione*: in un certo punto dello spazio arriva l'onda emessa da una sorgente che ha viaggiato lungo la congiungente fra la sorgente e il punto;
- in un'onda ciò che *viaggia* non è qualche cosa di materiale, ma è una perturbazione;
- perché la perturbazione *viaggi* nello spazio occorre che ci sia un "*accoppiamento*" fra corpi vicini, in modo che, spostando dalla sua posizione di equilibrio un corpo, anche il corpo vicino risente dello spostamento e viene lui pure spostato dall'equilibrio (es. un tratto di corda da violino non può essere spostata dalla posizione di equilibrio senza spostare anche i tratti vicini);
- in un'onda meccanica, come ad esempio un'onda sonora, l'accoppiamento è creato dalle forze che agiscono fra le molecole (nei solidi o nei liquidi) oppure dagli urti (nei gas);
- in una "cassa di risonanza" si crea appunto un accoppiamento con un solido, che è molto più forte dell'accoppiamento con un gas, perché le forze di accoppiamento sono più intense;

- tuttavia l'onda *elettromagnetica* (e quindi anche l'onda luminosa) viaggia anche nello spazio vuoto, cioè l'accoppiamento fra un punto dello spazio e il punto vicino avviene senza che ci sia della materia, ma per la sola presenza dei "campi" elettrici e magnetici;
- quando incontra un ostacolo l'onda si *riflette*; la riflessione è *speculare* se la superficie di impatto è perfettamente liscia (ha rugosità minori della lunghezza d'onda);
- se l'ostacolo è "trasparente", cioè presenta solo una zona in cui l'onda si propaga con velocità diversa, oltre alla riflessione si ha *rifrazione*: una parte dell'onda prosegue ma cambia direzione secondo la legge della rifrazione ( $\sin r / \sin i = v_r / v_i = n_i / n_r$ , dove  $i$  e  $r$  sono gli angoli di incidenza e di rifrazione che la direzione di propagazione dell'onda forma con la perpendicolare al piano di separazione fra i due mezzi,  $v_r$  e  $v_i$  le velocità di propagazione nei due mezzi)
- *onde stazionarie*: si formano quando ci sono riflessioni multiple e l'onda riflessa si sovrappone perfettamente all'onda incidente, il che avviene quando le dimensioni del corpo in cui si propaga l'onda sono multipli interi di mezza lunghezza d'onda.

➤ *L'energia dell'onda*

La caratteristica dell'energia portata dall'onda è che essa è diffusa su una zona spaziale estesa. Mentre in un corpo che oscilla appeso a una molla si può individuare chiaramente *dove* è concentrata l'energia, in una corda che vibra o in un'onda sonora l'energia è presente in tutta la zona dello spazio in cui l'onda sta propagandosi.

Ciò fa sì che talvolta si confonda "energia" con "intensità" di un'onda. Ad esempio, l'energia immessa in un'onda sonora in un periodo viaggia nello spazio con una certa velocità ma ha sempre lo stesso valore, indipendentemente dalla distanza. Invece l'*intensità* con cui si percepisce il suono a una certa distanza diminuisce come l'inverso del quadrato della distanza. Questo perché, a una certa distanza  $d$ , l'energia dell'onda è diffusa su tutta una superficie sferica di raggio  $d$  (pari a  $4\pi d^2$ ) e l'orecchio intercetta di tutta questa superficie solo una piccolissima parte, data dal rapporto fra l'area dell'ingresso dell'orecchio e l'area della superficie.



➤ *Esempi di oggetti ed esperimenti per "pensare" alle proprietà delle onde*

- l'onda si propaga nella *catena di monete*
- le "campane" di Roma
- l'*acchiapparaggi*
- il *termometro a raggi infrarossi*

### 5.3 Forze che agiscono a distanza e campi

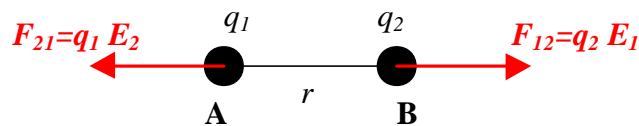
Tipiche forze a distanza sono le forze gravitazionali, elettriche e magnetiche. In esse la forza si trasmette attraverso un *campo*, si crea cioè nello spazio che circonda l'oggetto una situazione potenziale di forza che dipende dalla distanza e dalla grandezza caratteristica dell'oggetto che crea il campo.

➤ *Le grandezze caratteristiche del corpo che creano dei campi sono:*

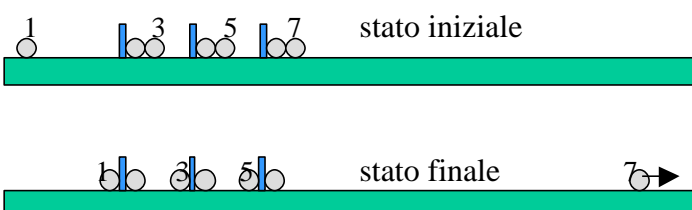
- > la *massa m*: crea un *campo gravitazionale* direttamente proporzionale alla massa, inversamente proporzionale al quadrato della distanza, diretto verso il punto in cui si trova il corpo (campo attrattivo);
- > la *carica elettrica q*: crea un *campo elettrico* direttamente proporzionale alla carica elettrica, inversamente proporzionale al quadrato della distanza, diretto verso il punto in

cui si trova il corpo (campo attrattivo) se la carica è *negativa*, diretto verso l'esterno (campo repulsivo) se la carica è *positiva*;

- > il *momento di dipolo magnetico*: crea un *campo magnetico* che è direttamente proporzionale al momento di dipolo e varia nello spazio in direzione e intensità secondo una legge complessa (il momento di dipolo magnetico e il campo magnetico sono in realtà strettamente legati alla carica elettrica e al campo elettrico, quindi il campo elettrico e il campo magnetico sono descritti da un unico campo, il campo "elettromagnetico");
  - > vi sono altre grandezze caratteristiche dei corpi che creano altri campi non osservabili a livello macroscopico (la carica "debole", che è responsabile delle "interazioni deboli" quali ad esempio i decadimenti radioattivi, la carica "forte" che è responsabile delle "interazioni nucleari forti" quali ad esempio quelle che agiscono all'interno dei nuclei);
  - > ci sono quindi in natura 4 campi fondamentali: gravitazionale, elettromagnetico, nucleare debole, nucleare forte.
- Una *forza a distanza* fra due corpi, ad esempio una forza elettrica, viene perciò descritta in due "passi": il corpo 1, di carica elettrica  $q_1$ , posto nel punto A crea un campo elettrico  $E_1$  in un certo punto B, il corpo 2, di carica elettrica  $q_2$ , messo nel punto B sente una forza  $F_{12}$  pari a  $q_2 E_1$ : la forza è diretta lungo la congiungente dei punti AB, se le cariche sono dello stesso segno la forza è repulsiva, se hanno segno opposto è attrattiva; il ragionamento vale invertito pensando al campo  $E_2$  generato nel punto A dal corpo di carica  $q_2$  messo nel punto B e alla forza  $F_{21}$  che il corpo di carica  $q_1$  sente quando è posto nel punto A.



- *Forza a distanza e campo*. La forza non è quindi direttamente fra i due corpi, ma è fra ciascun corpo e il campo generato dall'altro corpo. Questo passaggio è essenziale per capire come, ad esempio, un elettrone di un atomo che sta sulla Terra possa interagire con un elettrone che sta sul Sole: in base alle equazioni di Maxwell, il campo elettromagnetico  $E_{eS}$  generato da una "transizione" dell'elettrone da un livello all'altro di un atomo che sta sul Sole viaggia nello spazio, giunge sulla Terra, incontra un elettrone legato a un atomo e gli applica una "forza" che lo fa transire a un livello energetico superiore (la descrizione deve essere fatta in termini quantistici, quindi anziché di "forze applicate" occorre ragionare in termini di "energie scambiate", ma la sostanza del meccanismo è invariata).
- *Energia immagazzinata nel campo, ovvero energia potenziale o "di posizione" ed energia di legame*. L'esempio del "flipper magnetico"



Nello stato iniziale le sferette 1, 3, 5 e 7 sono "poco legate", perché sono distanti dal magnete: hanno **molta energia magnetica** immagazzinata.

Nello stato finale le sferette 1, 3 e 5 sono "molto legate", perché sono molto vicine al magnete: hanno **poca energia magnetica** immagazzinata.

L'energia magnetica persa da 1, 3 e 5 viene trasmessa alla sferetta 7, che non solo acquista energia sufficiente per liberarsi dal legame magnetico, ma anche acquista energia cinetica netta.

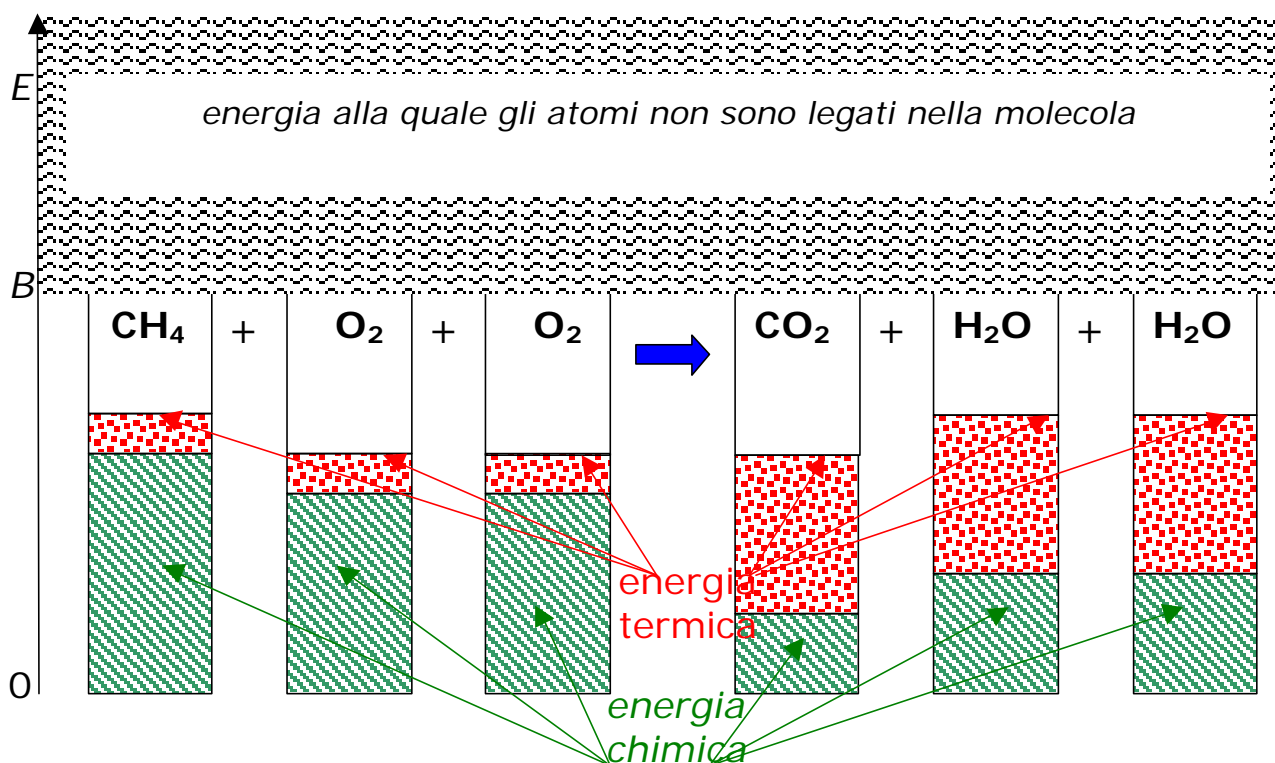
Nel processo l'energia si è trasformata da energia magnetica delle sferette 1, 3 e 5 a energia di moto della sferetta 7.

Il modo più comune di immagazzinare l'energia è proprio attraverso energia di posizione in un campo di forze. L'energia di posizione immagazzinata nell'acqua di una diga di montagna è appunto di questo tipo, ma anche l'energia chimica e quella nucleare sono energie immagazzinate in campi di forze. La situazione discussa per il "flipper magnetico" è infatti completamente analoga a quello che avviene in una reazione chimica, con la differenza che in una reazione chimica si trasforma l'energia di attrazione elettrica, che è alla base del legame chimico. Esempio:



Il metano e l'ossigeno hanno poca *energia termica* e molta *energia chimica*, perché hanno un debole legame chimico: sono infatti molto reattive, proprio perché i loro atomi si liberano facilmente. L'energia chimica è energia elettrica degli elettroni degli atomi che formano la molecola nel campo di attrazione media dovuto alle cariche elettriche positive dei nuclei.

Dopo la reazione le molecole di anidride carbonica e acqua hanno poca *energia chimica* (forte legame chimico: sono infatti molecole poco reattive e molto stabili) e molta *energia termica*.



Nella reazione si trasforma l'energia elettrica del legame chimico in energia termica delle molecole prodotte nella reazione: l'energia chimica non può essere usata direttamente, occorre una reazione chimica, l'energia termica si trasmette attraverso un semplice urto (contatto).

- *Esempi di oggetti e semplici esperimenti per "pensare" alle forze a distanza e campi*
  - *l'aquilone magnetico*: aiuta a visualizzare la dipendenza del campo dalla distanza;
  - *i magnetini sullo spiedino e poi sulla bilancia*: aiuta a vedere che le forze magnetiche si propagano nello spazio vuoto e gravano sulla bilancia anche se non c'è contatto;
  - *la collana magnetica*: aiuta a visualizzare come varia il campo magnetico all'interno di una sferetta che si magnetizza in modo diverso a seconda della posizione dei magneti esterni;
  - *elettricità amica o nemica*: classico esperimento di elettrostatica per esplorare forze di attrazione e repulsione elettrica.

### **5.5 Esercizi**

1) Discutete un fenomeno in cui intervengano oscillazioni, onde o interazioni a distanza;

- descrivete la fenomenologia e le variabili rilevanti,
- discutete come si potrebbero eventualmente misurare;
- discutete le relazioni che le legano ad altre grandezze;
- applicate tali relazioni all'analisi di qualche altra "situazione problematica".

2) Realizzate un esperimento in cui intervengano oscillazioni, oppure onde o campi; in base alle osservazioni/misure mettete in evidenza le relazioni fra le grandezze che misurate e i concetti fisici rilevanti.

Riportate in dettaglio i dati misurati, possibilmente organizzati in forma di tabella o di grafico.