

la
SCUOLA

16 marzo 2021



A stylized lowercase letter 'e' in red, surrounded by a circular arrangement of colorful, vertical bars in various colors (red, orange, yellow, green, blue, purple).

la
SCUOLA

Pensa con la fisica

Franco Bocci, Giovanna Malegori,
Giuseppe Milanesi, Francesca Toglia

- 5 Il lago di Livigno, in provincia di Sondrio, è delimitato da una grande diga e ha una superficie approssimabile a un rettangolo, con una lunghezza di circa 13 km e una larghezza media di 350 m. L'acqua del lago viene fatta scendere dentro grandi condotte verso una centrale elettrica, dove l'energia cinetica che ha acquisito durante la discesa viene trasformata in energia elettrica. In inverno, in 4 mesi, il livello del lago si abbassa di circa 16 m poiché l'acqua che viene utilizzata per la produzione elettrica non viene rimpiazzata dagli affluenti, tutti sostanzialmente gelati.



- a Stima il volume di acqua utilizzato per la produzione di energia elettrica durante i 4 mesi invernali.

La centrale dove avviene la produzione di energia

elettrica si trova 120 m sotto il livello a cui si trova l'acqua all'inizio dell'inverno.

- b Circa l'80% dell'energia potenziale gravitazionale che l'acqua perde scendendo verso la centrale viene convertita in energia elettrica. Stima quanta energia elettrica produce la centrale nei 4 mesi invernali.
- c In genere, un appartamento può assorbire al massimo una potenza di 3 kW. Stima la potenza erogata dalla centrale elettrica di Livigno nei mesi invernali e qual è il numero minimo di appartamenti che può alimentare.

La fisica che non ti aspetti !

Le correnti parassite sono sempre svantaggiose?



I tradizionali freni a disco, che funzionano per attrito di contatto tra le pastiglie e un disco solidale con la ruota, immettono nell'aria polveri sottili, dannose per la nostra salute. Le correnti parassite possono essere utilizzate per costruire un sistema frenante pulito, che non richiede contatto tra l'apparato frenante e la ruota e quindi non produce polveri. I freni elettromagnetici sono utilizzati nei treni, nelle attrezzature per palestre e anche in molte attrazioni nei parchi divertimenti.

Le correnti parassite possono anche essere sfruttate per il riscaldamento che esse producono per effetto Joule: è quanto si fa ad esempio nei piani di cottura a induzione. In una bobina, situata immediatamente sotto il piano cottura in vetroceramica, viene fatta scorrere una corrente alternata, con una frequenza compresa tra i 20 kHz e i 50 kHz: le correnti parassite che si sviluppano sul fondo della pentola la riscaldano per effetto Joule.

Tra i vantaggi di questa tecnologia vi è l'elevata efficienza energetica, superiore a quella dei sistemi tradizionali. In aggiunta si eliminano i pericoli derivanti da perdite di gas e si riduce il rischio di ustioni, in quanto il piano di cottura si scalda solo per contatto con la pentola calda e raramente raggiunge temperature pericolose.



Auto ibrida: due motori per un unico obiettivo 7

Con il termine “auto ibride” si intende una classe di veicoli la cui propulsione non dipende unicamente da un motore termico, ma anche da uno elettrico; i due motori lavorano sinergicamente per ottenere le migliori prestazioni con i minori consumi possibili di combustibili fossili.

Il rapido sviluppo tecnologico degli ultimi dieci anni ha reso le auto ibride veicoli alla portata di tutti, aspetto davvero importante perché esse hanno emissioni di gas inquinanti drasticamente inferiori rispetto alle automobili con il solo motore termico. L'Unione Europea, nell'ambito del quadro 2030 per il clima e l'energia ha infatti stabilito, tra i suoi obiettivi chiave¹:

- una riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990);
- l'utilizzo di almeno il 32% di energia rinnovabile;
- un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica.

Dal momento che i trasporti impattano notevolmente sulla quantità complessiva di emissioni, un veicolo ibrido è un veicolo che **rispetta maggiormente l'ambiente** e che, con il tempo, permette un risparmio economico perché per funzionare necessita di meno carburante rispetto ad un veicolo tradizionale.

Lo schema di un'automobile ibrida

Da un punto di vista energetico, i componenti fondamentali di un'automobile ibrida sono:

- il motore termico (quello tradizionale, a combustione interna);
- un dispositivo, che può trasformare energia elettrica in energia meccanica (motore) o viceversa (generatore);
- una batteria, che funziona come “serbatoio” di energia.

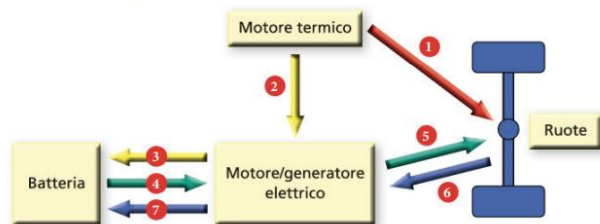
Il motore termico trasforma l'energia termica, ottenuta dalla combustione del carburante, in energia meccanica e la fornisce **1** alle ruote oppure la cede **2** al generatore elettrico.

Il generatore trasforma l'energia meccanica ricevuta in energia elettrica e la trasmette **3** alla batteria, dove viene immagazzinata.

Il motore elettrico può ricevere energia elettrica dalla batteria **4** e trasferirla, sotto forma di energia meccanica, alle ruote **5**. In altre parole, l'energia necessaria per la propulsione dell'automobile può provenire dal motore termico, dalla batteria, o anche da entrambi contemporaneamente.

Nelle frenate, in discesa oppure in occasione di rallentamenti, il generatore elettrico può ricevere energia meccanica dalle ruote **6** e immagazzinarla, sotto forma di energia elettrica, nella batteria **7**.

Quest'ultimo flusso energetico (**6-7**) prende il nome di **frenata rigenerativa** ed è quello più interessante, perché consente di immagazzinare nella batteria energia che altrimenti andrebbe sprecata, realizzando così un sensibile **risparmio energetico**.



179 Il Comune di Carano (Trento) ha realizzato nel 2007 un impianto fotovoltaico capace di rifornire di energia parte della popolazione del Comune. L'impianto è costituito da 2946 pannelli solari e ha una potenza nominale (il valore massimo di potenza elettrica che l'impianto può erogare nelle condizioni migliori) di 500 kW.

- Calcola l'energia massima che l'impianto può fornire in un anno (esprimi il risultato in kWh).
- Se l'energia annua garantita dall'impianto è pari a 600 000 kWh, calcola la potenza media garantita dall'impianto.
- Secondo te, quali fattori sono la causa di una potenza media garantita molto minore rispetto alla potenza nominale?
- Se una famiglia media (4 persone) consuma circa 2600 kWh all'anno, quante famiglie può rifornire l'impianto fotovoltaico? [$4,4 \times 10^6$ kWh, 68,5 kW; 231]

¹ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it

FORMULE

- $K = \frac{1}{2}mv^2$

- $K = \frac{1}{2}I\omega^2$

- Impulso = $\vec{F}\Delta t$

- Impulso = $\Delta\vec{p}$

- $\vec{F}_{\text{ris}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$

- $\vec{F}_{\text{ris}} = m\vec{a}$

- $L = \vec{F} \cdot \Delta\vec{S}$

- $L = \Delta K$

- $\Phi_S(\vec{E}) = \vec{E} \cdot \vec{A}$

- $\Phi_S(\vec{E}) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$

IL LAVORO E L'ENERGIA CINETICA

Lezione 4

In questa lezione vedremo come il lavoro è collegato a una prima forma di energia, l'energia cinetica.

L'energia cinetica

L'energia cinetica è l'energia associata al movimento.

DEFINIZIONE: ENERGIA CINETICA

Per un corpo puntiforme di massa m che si muove con una velocità di modulo v , l'energia cinetica K è data da:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Diagramma di annotazione: "massa del corpo" punta a m , "velocità del corpo" punta a v , "energia cinetica" punta a K .

Per corpi estesi in moto che non ruotano e non si deformano, tutti i punti subiscono spostamenti identici e quindi hanno velocità identiche \vec{v} . È naturale quindi che l'energia cinetica sia, anche per essi, semplicemente $K = \frac{1}{2}mv^2$.

Comprendi la definizione

- L'energia cinetica è una grandezza scalare che assume valori sempre positivi (tranne che per un corpo fermo, per il quale è nulla).
- Come la velocità, l'energia cinetica dipende dal sistema di riferimento scelto.
- L'energia cinetica dipende solo dal modulo della velocità e non dalla sua direzione. Per un sistema di corpi e per un corpo esteso, l'energia cinetica totale è data dalla somma dell'energia cinetica delle parti di cui è composto.
- Dalla definizione, possiamo dedurre che l'unità di misura dell'energia nel Sistema Internazionale, il joule, è espresso in termini delle unità fondamentali come:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Ricordando che $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$, notiamo che questa espressione per il joule coincide con quella indicata come unità di misura del lavoro: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$.

Applica la definizione

Una pallina da tennis avente massa di 60 g viene colpita da un tennista professionista e si mette in moto alla velocità di 180 km/h. Quanto vale la sua energia cinetica?

$$k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,060 \text{ kg} \cdot \left(\frac{180}{3,6}\right)^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 75 \text{ J}$$

Il teorema dell'energia cinetica per un corpo puntiforme

Come si può intuire, l'energia cinetica non è una grandezza fisica che si conserva: infatti, se un corpo è soggetto a una forza risultante non nulla, subisce un'accelerazione che può cambiare il modulo della sua velocità e quindi anche la sua energia cinetica.



DEFINIZIONE: ENERGIA CINETICA

Per un corpo puntiforme di massa m che si muove con una velocità di modulo v , l'energia cinetica K è data da:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Diagramma di annotazione: "massa del corpo" punta a m , "velocità del corpo" punta a v , "energia cinetica" punta a K .

Comprendi la definizione

- L'energia cinetica è una grandezza scalare che assume valori sempre positivi (tranne che per un corpo fermo, per il quale è nulla).
- Come la velocità, l'energia cinetica dipende dal sistema di riferimento scelto.
- L'energia cinetica dipende solo dal modulo della velocità e non dalla sua direzione. Per un sistema di corpi e per un corpo esteso, l'energia cinetica totale è data dalla somma dell'energia cinetica delle parti di cui è composto.
- Dalla definizione, possiamo dedurre che l'unità di misura dell'energia nel Sistema Internazionale, il joule, è espresso in termini delle unità fondamentali come:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Ricordando che $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$, notiamo che questa espressione per il joule coincide con quella indicata come unità di misura del lavoro: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$.

La legge di Gauss

La **legge di Gauss** per il campo elettrico e quella per il campo gravitazionale esprimono importanti caratteristiche dei rispettivi campi. Grazie a queste leggi, nelle prossime lezioni potremo derivare numerose proprietà dei campi che sarebbero altrimenti molto complesse da ricavare.

Per enunciare questa legge occorre introdurre la distinzione tra **superfici aperte** e **superfici chiuse**.

MATE & FISICA

Una superficie si dice **chiusa** se divide lo spazio in due parti: una finita interna a essa e una infinita esterna. Sono superfici chiuse ad esempio la superficie di una sfera, quella di un sasso, la buccia di una patata o di un frutto. Non è possibile passare dalla regione interna a quella esterna di una superficie chiusa (o viceversa) senza attraversare la superficie stessa.

Le superfici **aperte** invece possono sempre essere "aggirate": si può andare da un punto qualsiasi dello spazio a un altro senza attraversarle. Sono superfici aperte quella di un cerchio o di un parallelogramma, ma anche quella di un pezzetto di carta.



La legge di Gauss riguarda il flusso attraverso una **superficie chiusa** (a volte detta anche **superficie gaussiana**).

Come verso di attraversamento di una superficie chiusa si fissa convenzionalmente quello **uscente** dalla superficie, cioè dall'interno verso l'esterno. Per questo si parla di flusso "uscente" da una superficie chiusa.

Legge di Gauss per il campo elettrico

Ricorda che la costante ϵ_0 è collegata alla costante di Coulomb k_0 dalla relazione:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k_0}$$
 Il suo valore è:
 $8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ m}^{-2} \text{ N}^{-1}$

LEGGE DI GAUSS PER IL CAMPO ELETTRICO

Il flusso del campo elettrico uscente da una **superficie chiusa** S_c è proporzionale alla somma algebrica Q_{int} di tutte le cariche contenute al suo interno e vale, nel vuoto:

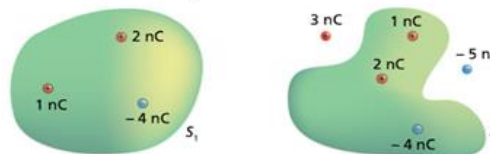
$$\Phi_{S_c}(\vec{E}) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

Comprendi la legge

- Nella somma, ogni carica va considerata con il suo segno. Il flusso può quindi essere nullo, positivo o negativo, a seconda del valore di Q_{int} .
- La superficie S_c non deve necessariamente essere una superficie materiale, ma può essere una qualsiasi superficie immaginaria, purché sia chiusa e orientata.
- La legge vale solo per superfici chiuse: per una superficie aperta, infatti, non è possibile distinguere una regione interna e una esterna.
- Le cariche all'esterno di S_c contribuiscono al campo elettrico, ma non al flusso attraverso quella superficie.
- Il flusso dipende dalle cariche che si trovano all'interno della superficie, ma non dalla loro posizione. Se una carica interna si muove, restando all'interno di S_c , il campo elettrico cambia, il flusso no. Il flusso cambia se una carica attraversa la superficie chiusa.

Applica la legge

Analizziamo le due situazioni in figura.



Il campo nei punti delle superfici S_1 e S_2 ha espressioni diverse e complicate. Calcolare il flusso utilizzando la definizione sarebbe estremamente difficile. Invece, usando la legge di Gauss, è immediato notare che è lo stesso attraverso entrambe le superfici e vale:

$$\Phi(\vec{E}) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} = \frac{1 \times 10^{-9} \text{ C} + 2 \times 10^{-9} \text{ C} - 4 \times 10^{-9} \text{ C}}{8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ m}^{-2} \text{ N}^{-1}} = -1,1 \times 10^2 \text{ Nm}^2 / \text{C}$$

Legge di Gauss per il campo elettrico

LEGGE DI GAUSS PER IL CAMPO ELETTRICO

Il flusso del campo elettrico uscente da una **superficie chiusa** S_c è proporzionale alla somma algebrica Q_{int} di tutte le cariche contenute al suo interno e vale, nel vuoto:

$$\Phi_{S_c}(\vec{E}) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

Comprendi la legge

- Nella somma, ogni carica va considerata con il suo segno. Il flusso può quindi essere nullo, positivo o negativo, a seconda del valore di Q_{int} .
- La superficie S_c non deve necessariamente essere una superficie materiale, ma può essere una qualsiasi superficie immaginaria, purché sia chiusa e orientata.
- La legge vale solo per superfici chiuse: per una superficie aperta, infatti, non è possibile distinguere una regione interna e una esterna.
- Le cariche all'esterno di S_c contribuiscono al campo elettrico, ma non al flusso attraverso quella superficie.
- Il flusso dipende dalle cariche che si trovano all'interno della superficie, ma non dalla loro posizione. Se una carica interna si muove, restando all'interno di S_c , il campo elettrico cambia, il flusso no. Il flusso cambia se una carica attraversa la superficie chiusa.

GLI IMPULSI TRASVERSALI E LONGITUDINALI

Molti fenomeni quotidiani possono essere interpretati introducendo il concetto di onda: la seguente attività ne è un esempio.

PENSA CON LA FISICA

Un pallone è fermo in acqua. Per metterlo in movimento, lanciamo un sasso.

- 1 Che cosa succede quando il sasso colpisce il pallone?
- 2 Se il sasso cade in acqua, non lontano dal pallone, quest'ultimo si mette comunque in movimento. Come è possibile che il pallone acquisti energia cinetica senza essere toccato dal sasso?
- 3 In che direzione si muove il pallone, orizzontale o verticale? La sua posizione rispetto al bordo della piscina cambia?

DEFINIZIONE: IMPULSO

Un **impulso** è la propagazione nello spazio di una perturbazione che trasporta energia (e quantità di moto) senza alcun trasferimento di materia.

Riprendiamo in esame la situazione descritta nell'attività iniziale. Quando lasciamo cadere in acqua il sasso nei pressi del pallone, senza colpirlo direttamente, esso produce una perturbazione rappresentata da una serie di increspature sulla superficie dell'acqua che si allargano e dopo qualche istante raggiungono il pallone, mettendolo in movimento. Grazie alla propagazione sull'acqua di queste increspature, l'energia viene trasferita al pallone anche se il sasso non lo tocca. Il pallone, quindi, andrà su e giù in direzione verticale, ma non si avvicinerà né si allontanerà dal bordo della piscina.



PENSA CON LA FISICA

Un pallone è fermo in acqua. Per metterlo in movimento, lanciamo un sasso.

- 1 Che cosa succede quando il sasso colpisce il pallone?
- 2 Se il sasso cade in acqua, non lontano dal pallone, quest'ultimo si mette comunque in movimento. Come è possibile che il pallone acquisti energia cinetica senza essere toccato dal sasso?
- 3 In che direzione si muove il pallone, orizzontale o verticale? La sua posizione rispetto al bordo della piscina cambia?

un punto qualunque della corda, ci accorgiamo che, durante il transito dell'impulso, il fiocchetto si sposta in su e in giù, ma non si verifica alcun movimento nella direzione orizzontale di propagazione dell'impulso. Una volta che l'impulso è passato, il fiocchetto ritorna nella posizione iniziale. Quindi, mentre la perturbazione si muove lungo la corda, trasferendo energia e quantità di moto da un capo all'altro, ogni punto della corda rimane sempre nella medesima posizione orizzontale.

È importante distinguere il **moto di propagazione** degli impulsi (o delle onde), di tipo rettilineo uniforme, dal moto degli elementi del mezzo di propagazione (come i tratti di corda), che è invece un'**oscillazione attorno a una posizione di equilibrio**. Quando scuotiamo l'estremità di una corda, mentre l'impulso avanza in direzione orizzontale, ogni punto della corda oscilla in direzione verticale.

In un campo magnetico uniforme, il flusso concatenato con un solenoide di N spire è molto maggiore del flusso concatenato con un circuito di dimensioni simili formato da una sola spira. Per questo motivo in un circuito gli effetti induttivi sono grandemente esaltati dalla presenza di un solenoide. In questa lezione prenderemo in esame circuiti contenenti solenoidi.

PENSA CON LA FISICA

Esistono dispositivi che consentono di caricare la batteria dello smartphone o di altri apparecchi elettronici senza cavi: è sufficiente avvicinare lo smartphone al caricatore.

- 1 Quale fenomeno fisico è alla base di questa tecnologia?
- 2 La corrente che scorre nel caricatore è costante oppure varia nel tempo? Perché?
- 3 Il cellulare deve essere predisposto per questa tecnologia: quale componente dev'essere presente al suo interno e nel caricatore?

Comprendi la formula

- M esprime l'intensità dell'accoppiamento tra i due circuiti. Ricorrendo al concetto intuitivo di flusso che abbiamo utilizzato più volte, possiamo dire che M è tanto maggiore quanto più è alto il "numero" di linee del campo \vec{B}_1 che attraversano il circuito secondario (o viceversa).
- M dipende da fattori geometrici: la distanza tra i circuiti, la loro forma, le loro dimensioni, la loro orientazione reciproca nello spazio. Nel caso di due solenoidi, ad esempio, il massimo valore di M si ha quando essi hanno l'asse in comune.
- La sua unità di misura prende il nome di henry (simbolo H): $H = \frac{Wb}{A}$.
- Se siamo interessati a determinare il valore di M , siamo liberi di assegnare il ruolo di circuito primario a quello che ne rende più semplice il calcolo.

Se facciamo variare la corrente nel primario avremo una fem indotta nel secondario. Quando due grandezze sono direttamente proporzionali, lo sono anche le rispettive variazioni; pertanto, indicando con ΔI_1 la variazione di corrente che si ha in un intervallo di tempo Δt , la corrispondente variazione del flusso concatenato con il circuito secondario sarà:

$$\Delta\Phi_2(\vec{B}_1) = M\Delta I_1$$

NELLA STORIA

Lo scienziato americano Joseph Henry (1797-1878) è, assieme a Faraday, uno dei due scopritori dell'induzione.

PENSA CON LA FISICA

Esistono dispositivi che consentono di caricare la batteria dello smartphone o di altri apparecchi elettronici senza cavi: è sufficiente avvicinare lo smartphone al caricatore.

- 1 Quale fenomeno fisico è alla base di questa tecnologia?
- 2 La corrente che scorre nel caricatore è costante oppure varia nel tempo? Perché?
- 3 Il cellulare deve essere predisposto per questa tecnologia: quale componente dev'essere presente al suo interno e nel caricatore?

$$\Phi_1(\vec{B}_2) = MI_2$$

Per questo motivo M prende il nome di **coefficiente di mutua induzione**.

Consideriamo ora il flusso del campo magnetico \vec{B} , generato da una corrente, concatenato con il **circuito stesso** in cui quella corrente scorre (non con un altro circuito): esso prende il nome di **flusso autoconcatenato**; lo indicheremo con il simbolo $\Phi_{ac}(\vec{B})$. Per esempio, nella situazione precedente, è autoconcatenato il flusso del campo magnetico \vec{B}_1 concatenato con il circuito 1 stesso.

LA PERCEZIONE DELLA FISICA

capire
il senso



bellezza della
fisica



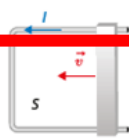
motivazione
interesse

~~APPLICARE
MECCANICAMENTE~~

FISSA I CONCETTI

FISSA I CONCETTI

...ta con-
tà \vec{v} su
ma di
O, in una regione in cui è presente
un campo magnetico. Nel circuito
si ha una corrente indotta con il
verso indicato.
Quale delle seguenti affermazioni riguardanti il cam-
po magnetico è corretta?
[A] Deve necessariamente essere un campo variabile
nel tempo



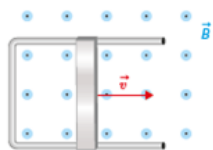
- [B] Il suo verso è uscente dal foglio
- [C] Il suo verso è entrante nel foglio
- [D] È parallelo al foglio

- 50 In una lastra metallica si generano correnti di Foucault in tutti i seguenti casi tranne uno; quale?
- [A] Quando è ferma in un campo magnetico costante
 - [B] Quando è ferma in un campo magnetico variabile
 - [C] Quando viene estratta da un campo magnetico
 - [D] Quando viene inserita in un campo magnetico

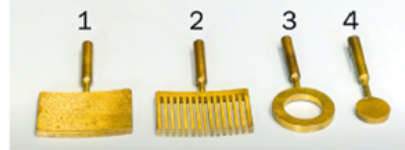
RIFLETTI, INTERPRETA, COLLEGA

RIFLETTI, INTERPRETA, COLLEGA

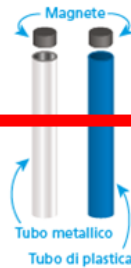
...E4 **SPIEGA PERCHÉ** Una barretta metallica scorre con ve-
locità \vec{v} su una guida in una zona in cui vi è un campo magnetico uni-
forme perpendicolare al piano e uscente dalla pagina.
Qual è il verso della corrente indotta nel circuito? Se
l'attrito fra la barretta e il circuito è trascurabile, per-
ché è necessario applicare una forza per mantenere in
moto la barretta con velocità costante?



...E4 **RIFLETTI** In un pendolo di Waltenhofen hai a disposi-
zione due sfere metalliche. Con quale
sfera lo smorzamento delle oscillazioni
sarà maggiore? Perché?



55 **SPERIMENTA** Tieni in verticale
un tubo di plastica e un tubo met-
allico con la stessa lunghezza e
lo stesso diametro.



- a Lascia cadere in ciascun tubo
un magnete cilindrico. Qual è il
tempo di caduta? Come cambia
il tempo di caduta se il tubo è
più lungo? Come cambia il tem-
po di caduta se il tubo è più
spesso? Come cambia il tempo
di caduta se il tubo è più
curvo? Come cambia il tempo
di caduta se il tubo è più
curvo? Come cambia il tempo
di caduta se il tubo è più
curvo?
- b Lascia cadere un piccolo mag-
nete cilindrico in ciascuno
dei tubi. Per quale fenomeno i tempi di caduta sono
diversi?
- c Appendi ora i tubi a un dinamometro molto sensi-
bile. Cosa osservi nei quattro casi?
- d Considera il tubo metallico come composto da tan-
te spire coassiali. Quando il magnete è all'interno
del tubo, nelle spire sottostanti circola una corrente
parassita indotta; per la legge di Lenz questa cor-
rente ha verso tale da esercitare una forza attrattiva
o repulsiva sul magnete che sta scendendo? E nelle
spire al di sopra del magnete?
- e Se nel tubo metallico è praticato un taglio longitu-
dinale cosa si osserva?

RISOLVI

...ne (*induction hardening*) è un
processo tecnologico che sfrutta
l'induzione per surriscaldare
l'acciaio; questo viene poi rapi-
damente raffreddato con un
getto d'acqua aumentandone la
durezza. Cerca in rete video che
mostrano questa lavorazione.



53 **SPIEGA PERCHÉ** Considera una spira in moto in un
campo magnetico.

- a Perché quando la spira è immersa completamente
nel campo non c'è corrente indotta?
- b Perché nella fase di uscita dal campo occorre appli-
care una forza per mantenere costante la velocità?

In entrambi i casi fornisci una spiegazione sia usan-
do la forza di Lorentz, sia usando la legge di Far-
aday-Neumann, sia usando la legge di conservazione
dell'energia.

56 **CONFRONTA** Per rallentare un veicolo metallico in movimento, vuoi sfruttare l'effetto frenante delle correnti parassite, facendogli attraversare dei campi magnetici. Quale strategia è più efficace: usare un campo magnetico molto esteso, oppure una serie di regioni in cui è presente un campo magnetico alternate a regioni che ne sono prive? Perché?

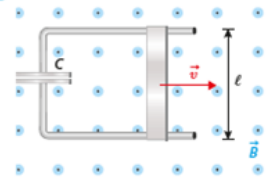
57 **SPERIMENTA** L'alluminio è paramagnetico dunque una normale calamita non attirerà oggetti di questo materiale. Se però una calamita viene posta in rotazione sopra un disco di alluminio libero di ruotare si osserva che anche il disco si mette a girare. Per realizzare l'esperimento ritaglia un disco da un foglio di alluminio per alimenti e ponilo in equilibrio su una pallina da ping pong fissata in modo che non rotoli. Sopra il disco poni tre magnetini forati appesi a una cordicella. Arrotola quest'ultima e poi lasciala andare, in modo che i magnetini si mettano a ruotare: vedrai che anche il disco di alluminio si metterà a ruotare nello stesso verso dei magnetini. Da dove viene l'energia necessaria per mettere in rotazione il disco?



RISOLVI

Una barretta in moto. Una spira in moto. Il bilancio energetico

58 Una barretta di lunghezza 10 cm si muove in un piano
con velocità costante di modulo 1,5 m/s in direzione
perpendicolare alla propria lunghezza in una zona in
cui vi è un campo magnetico uniforme perpendicolare
al piano. Se la differenza di potenziale che si stabilisce
agli estremi della barretta è di 4,4 mV quanto vale l'in-
tensità del campo magnetico? [2,9 × 10⁻² T]



59 Una barretta si trova in una regione in cui è presente
un campo magnetico uniforme \vec{B} di intensità 0,11 T,
perpendicolare alla barretta, e si muove con una ve-
locità \vec{v} perpendicolare alla barretta e a \vec{B} . Qual è il mo-
dulo della velocità se il campo elettrico nella barretta è
4,5 V/m? [41 m/s]

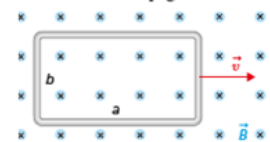
60 Tra le estremità delle ali di un aereo in volo può nasce-
re una fem per effetto del campo magnetico terrestre.
Quanto vale questa differenza di potenziale indotta per
un aereo di apertura alare di 70,2 m che sta volando
nell'emisfero Nord lungo un meridiano, a una veloci-
tà di 900 km/h, in una zona dove il campo magnetico
terrestre ha un'intensità di $4,81 \times 10^{-5}$ T ed è inclinato
verso il basso di 57° rispetto alla direzione orizzonta-
le? Trova poi la velocità dell'aereo se si stabilisce una
tensione di 1,20 V tra le punte delle sue ali durante il
volo sopra il polo nord magnetico, dove l'intensità del
campo magnetico terrestre è $8,00 \times 10^{-5}$ T ed esso ha
direzione perpendicolare alla superficie. [0,708 V; 769 km/h]



61 Una sbarretta, di lunghezza $\ell = 25,0$ cm, è mantenuta
in movimento con velocità costante $v = 1,60$ m/s su
un conduttore a forma di U nel quale è inserito un
condensatore di capacità $C = 230 \mu\text{F}$. La distanza tra
le armature è $d = 13,0$ mm. Il dispositivo è immerso
in un campo magnetico uniforme perpendicolare alla
sbarretta, di intensità $B = 36,0$ mT.

- Determina:
- a La differenza di potenziale tra le armature, speci-
ficando qual è quella positiva. [14,4 mV; quella inferiore]
 - b L'intensità del campo elettrico tra le armature. [1,11 V/m]
 - c La carica sulle armature. [3,31 μC]

62 Una spira rettangolare di lati $a = 15$ cm e $b = 10$ cm è
appoggiata su un piano orizzontale, di attrito trascurabile.
Essa viene estratta con velocità costante \vec{v} , paral-
lela al lato a , da un campo magnetico uniforme \vec{B}
presente in una zona limitata a sezione rettangolare.
Il campo magnetico è perpendicolare al piano della spi-
ra e ha verso entrante nella pagina.

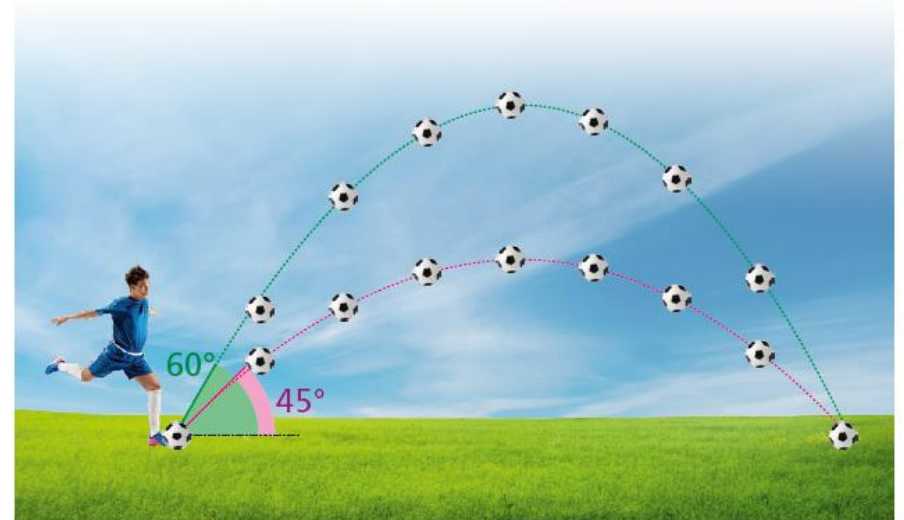


- a Quando, e in che verso, inizia a circolare corrente
nella spira? Quando la corrente si interrompe?
- b Se la resistenza della spira è di $1,08 \times 10^{-2} \Omega$, il
campo $B = 0,48$ T e la velocità con cui si estrae la
spira è 1,3 m/s, calcola la fem, la corrente indotta e
la potenza dissipata nella spira mentre sta uscendo
dal campo magnetico. [62 mV; 5,8 A; 0,36 W]
- c Spiega perché è necessario applicare una forza
esterna F per estrarre la spira con velocità costan-
te e determina la sua intensità, direzione e il verso.
Mostra che la potenza necessaria a estrarre la spira
è pari a quella dissipata per effetto Joule. [0,28 N]

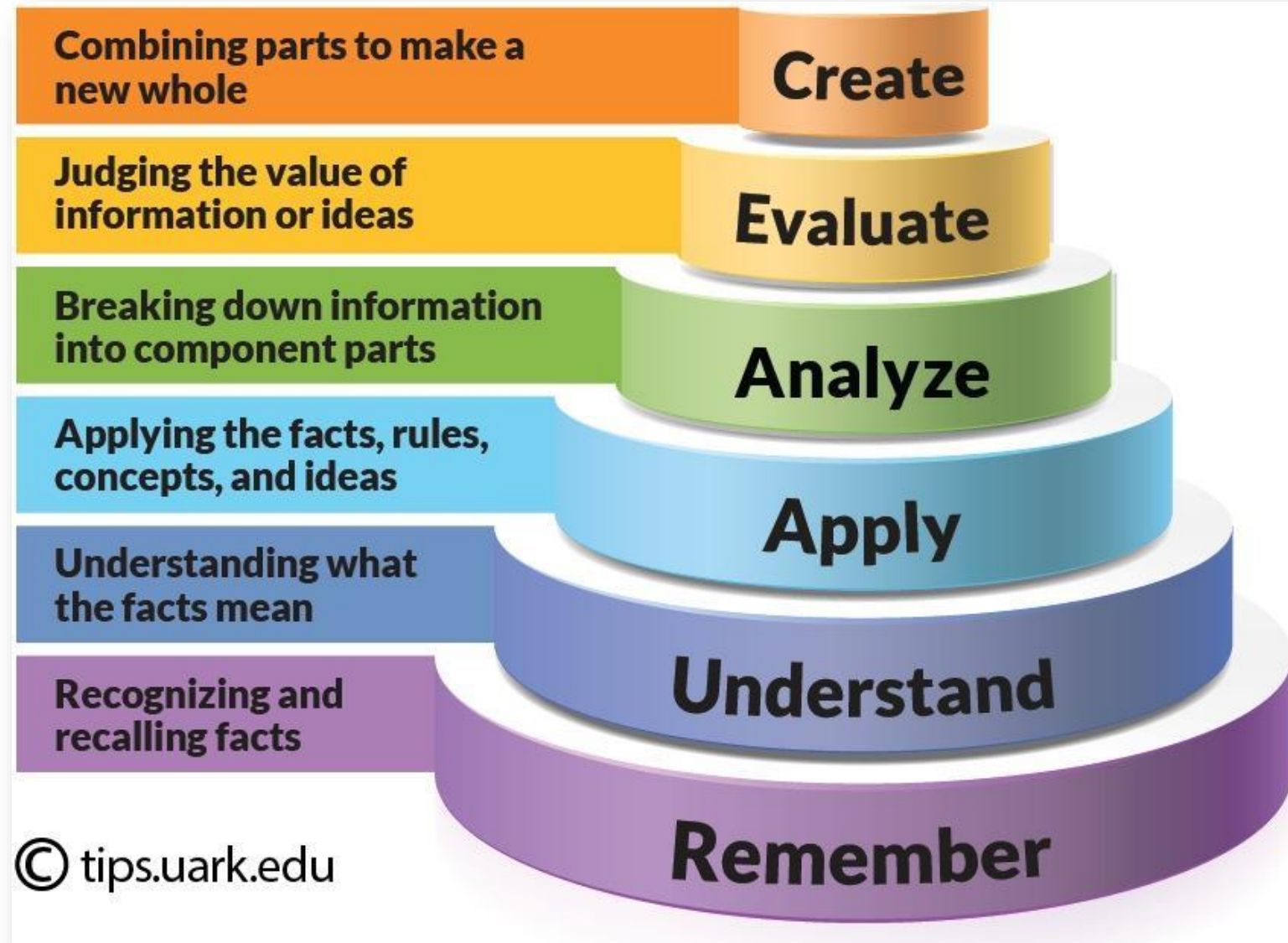
5 SPIEGA PERCHÉ A causa del moto ondoso, le imbarcazioni possono essere soggette a oscillazioni. Si parla di rollio quando l'oscillazione è attorno a un asse che corre da poppa a prua e di beccheggio se l'asse va da dritta a sinistra. Rispetto a quale dei due assi l'imbarcazione ha momento d'inerzia maggiore?



45 CONFRONTA Nella figura sono disegnate le traiettorie di due palle lanciate da un bambino in un fiume, con angoli di 45° e di 60° . Quale delle due palle ha velocità iniziale con modulo maggiore?



TASSONOMIA DI BLOOM



LA DIFFRAZIONE DA SINGOLA FENDITURA

Proseguiamo lo studio dell'Ottica Fisica esaminando la diffrazione di onde luminose che incontrano un ostacolo o una fenditura di dimensioni confrontabili con la lunghezza dell'onda.

PENSA CON LA FISICA

Per creare una fenditura sottile, avvicina due matite con la sezione esagonale e avvolgi a un'estremità un elastico che le tenga unite. Vicino all'altra estremità avvolgi con un giro un altro elastico attorno a una sola matita e la restante parte dell'elastico attorno alle due matite. Di sera, al buio, avvicina un occhio alle matite e guarda la luce di un lampione attraverso la fenditura. Schiaccia le matite in modo da variare la larghezza della fenditura.

- 1 Come appare la lampadina? Che cosa succede se riduci le dimensioni della fenditura?
- 2 Che cosa cambia se la fenditura è orizzontale o verticale?



Comprendi la formula

- La figura di diffrazione è **simmetrica** rispetto all'asse della fenditura.
- Al centro della figura di diffrazione, per $\vartheta = 0$, è presente una frangia luminosa, per cui deve essere $k \neq 0$.
- Una fenditura più stretta forma una figura di diffrazione più larga: infatti, a parità di lunghezza d'onda, se a diminuisce, il valore di ϑ_i aumenta. In particolare, se $a < \lambda$, non si forma alcun minimo di intensità, perché risulta che $\sin\vartheta_i > 1$. È per questo che, nell'attività iniziale, se stringi la fenditura, vedi una striscia luminosa più larga.
- Per piccoli angoli vale l'approssimazione $\sin\vartheta = y/\ell$ e la (1) assume la forma: $y/\ell = \lambda/a$ dove y indica la posizione del minimo rispetto al centro della figura di diffrazione e ℓ la distanza tra lo schermo e la fenditura.
- La (1) assomiglia moltissimo alla formula per l'interferenza della doppia fenditura che abbiamo studiato nella Lezione 3. La differenza è che in quel caso la formula forniva la posizione dei **massimi**, mentre qui abbiamo i **minimi**, e che la distanza tra le due fenditure, d , è sostituita dalla larghezza della fenditura, a .

Applica la formula

Con un semplice esperimento di diffrazione della luce possiamo misurare le dimensioni di un canale. Dunque:



PENSA CON LA FISICA

Per creare una fenditura sottile, avvicina due matite con la sezione esagonale e avvolgi a un'estremità un elastico che le tenga unite. Vicino all'altra estremità avvolgi con un giro un altro elastico attorno a una sola matita e la restante parte dell'elastico attorno alle due matite. Di sera, al buio, avvicina un occhio alle matite e guarda la luce di un lampione attraverso la fenditura. Schiaccia le matite in modo da variare la larghezza della fenditura.

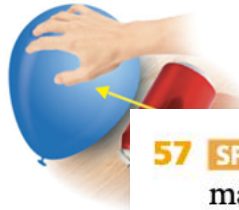
- 1 Come appare la lampadina? Che cosa succede se riduci le dimensioni della fenditura?
- 2 Che cosa cambia se la fenditura è orizzontale o verticale?



RIFLETTI, INTERPRETA, COLLEGA

- 55 SPIEGA PERCHÉ** Avvicinando una bacchetta carica a una sferetta conduttrice neutra, quest'ultima prima viene attratta e poi, dopo il contatto, respinta. Sai spiegare perché?
- 56 RIFLETTI** Vuoi caricare positivamente un oggetto di metallo e puoi usare solo una bacchetta caricata negativamente, come procedi?

57 SPERIMENTA Gonfia un palloncino e strofinalo su un maglione di lana o tra i capelli. Metti una lattina vuota in orizzontale su una superficie piana e liscia. Tieni il palloncino a circa 3 cm dalla lattina. Cosa osservi? Allontana lentamente il palloncino dalla lattina, cosa accade ora? E se sposti il palloncino dall'altra parte della lattina?



58 SPERIMENTA Monta due lattine vuote su due bicchieri di polistirolo con il nastro adesivo che siano a contatto. Strofini un palloncino su un maglione o sui capelli e avvicinalo tocchino. Una volta separate, le due lattine risulteranno cariche. Prova a costruire quest



59 SPERIMENTA Un elettroforo consiste in una piattaforma di materiale dielettrico e un manico isolante. Si carica la piattaforma per strofinio, supponiamo positivamente, e, affacciato alla piattaforma si addenseranno cariche negative. Basta toccare con un disco resti carico negativamente. Ripetendo l'operazione più volte si può accumular

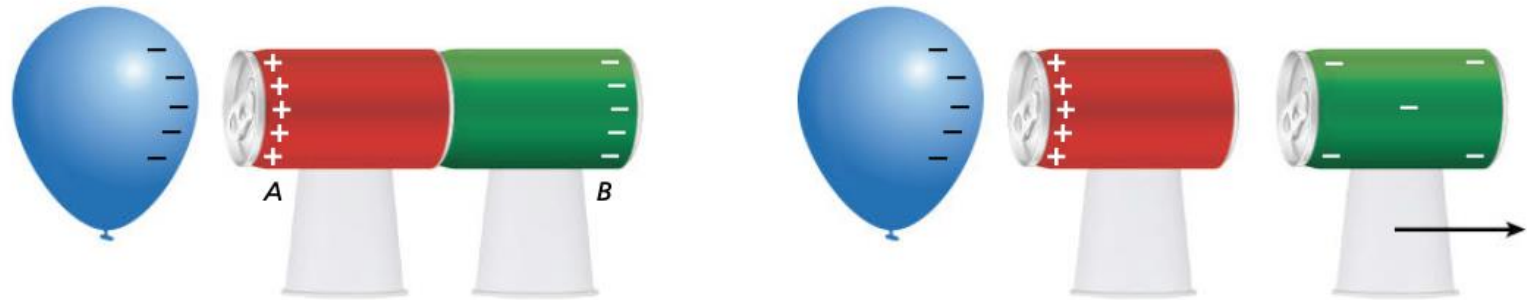


L'idea è dovuta allo scienziato italiano Alessandro Volta (1745-1827), ma puoi riprodurla facilmente a casa. La piattaforma dielettrica sarà costituita da un piatto di polistirolo. Su una tortiera di alluminio, che rappresenta il disco metallico, fissa con il nastro adesivo un bicchiere di plastica che sarà utilizzato come manico isolante. Con una graffetta fermacarte appendi alla tortiera una sottile strisciolina di alluminio come in figura. Carica il tuo elettroforo strofinando energicamente il piatto con un panno e avvicina su di esso la tortiera.



57 SPERIMENTA Gonfia un palloncino e strofinalo su un maglione di lana o tra i capelli. Metti una lattina vuota in orizzontale su una superficie piana e liscia. Tieni il palloncino a circa 3 cm dalla lattina. Cosa osservi? Allontana lentamente il palloncino dalla lattina, cosa accade ora? E se sposti il palloncino dall'altra parte della lattina?

58 SPERIMENTA Monta due lattine vuote su due bicchieri di polistirolo con il nastro adesivo e posiziona le lattine in modo che siano a contatto. Strofini un palloncino su un maglione o sui capelli e avvicinalo a una delle lattine, senza che si tocchino. Una volta separate, le due lattine risulteranno cariche. Prova a costruire questo modello e spiega il fenomeno.



60 INTERPRETA L'angolo tra le foglie di un elettroscopio carico è inizialmente di 45°. Se un corpo carico viene avvicinato all'elettroscopio, l'angolo tra le foglie prima si azzerà, poi, all'ulteriore avvicinarsi dell'oggetto, aumenta fino a 60°. L'elettroscopio e il corpo hanno cariche dello stesso segno o di segno opposto? Nella

condizione finale la carica sulle foglie dell'elettroscopio è superiore o inferiore alla carica iniziale?

61 TROVA L'ERRORE L'induzione elettrostatica completa consiste nel fatto che la carica indotta negativa è data da tutti gli elettroni di conduzione presenti nel conduttore.

RISOLVI

L'induzione elettrostatica

62 SPERIMENTA Quattro sfere conduttrici A, B, C e D sono caricate come segue, mediante fili di cuoio...

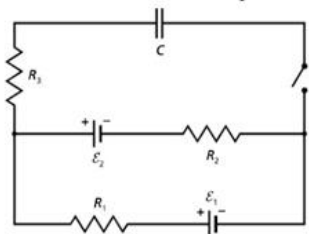


Why there is a point charge of 3.2 nC. What is the charge q_i on the interior surface of the conductor? What is the charge q_e on the exterior surface of the conductor? [-3.2 nC; +3.2 nC]

66 Tre sfere metalliche uguali, A, B e C, sono montate su supporti isolanti e poste in contatto l'una con l'altra. Due bacchette di vetro uguali, caricate negativamente,

67 Una sfera di materiale isolante di raggio 1,00 cm e carica 12,5 nC è inserita all'interno di un conduttore cavo sferico, di raggio interno 30,0 cm, che ha carica interna q_i e carica esterna q_e . La carica totale sul conduttore è di 30,2 nC. Quanto vale la carica q_e ? [42,7 nC]

6 Nel circuito in figura valgono le seguenti relazioni: $R_1 = 4,6 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 8,1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 52 \text{ k}\Omega$, $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ V}$, $\mathcal{E}_2 = 9,0 \text{ V}$, $C = 350 \text{ nF}$ e che il condensatore è scarico. Calcola l'intensità di corrente attraverso i resistori non appena l'interruttore è stato chiuso e quando il processo di carica del condensatore è terminato. Commenta inoltre la seguente affermazione: "All'istante iniziale, il condensatore non oppone alcuna resistenza al passaggio di corrente e si comporta come un interruttore chiuso. Via via che si accumula carica sulle sue armature, tuttavia, esso si oppone sempre più al passaggio di corrente, fino a bloccare completamente il passaggio di corrente, comportandosi come un interruttore aperto".



7 In Amazzonia vive una specie di anguilla che stordisce le prede sprigionando scariche elettriche fino a 860 V di tensione e 1 A di corrente. Qual è la massima potenza che è in grado di rilasciare alle sue prede? Vogliamo ora valutare la pericolosità di questa scossa per l'uomo. Il passaggio di corrente attraverso il corpo umano può causare la fibrillazione del cuore e portare alla morte. Gli effetti dipendono dall'intensità della corrente e per quanto tempo essa agisce. Una corrente di intensità superiore a 100 mA può determinare la fibrillazione ventricolare. Una corrente di intensità superiore a 1 A può causare la morte. Una corrente di intensità superiore a 10 A può causare la morte. Una corrente di intensità superiore a 100 A può causare la morte. Una corrente di intensità superiore a 1000 A può causare la morte.

ANALIZZA, INTERPRETA, ARGOMENTA

8 **CALCOLATRICE GRAFICA** Un insegnante sta preparando un'attività sulla seconda legge di Ohm per i suoi studenti. Si procura quattro fili di costantana (una lega di nichel-cromo) e misura la loro resistenza. I fili sono tutti lunghi 1,0 m; la resistenza è riportata nella Tabella 1, in funzione del diametro. In seguito, il docente prende il filo di diametro 0,55 mm, lo taglia in sezioni di lunghezza diversa e ne misura la resistenza. I dati raccolti sono riportati nella Tabella 2.

a Rappresenta in un grafico la resistenza in funzione dell'area della sezione del filo. Che relazione esiste tra le due grandezze?

b Disegna in un grafico la resistenza del filo da 0,55 mm in funzione della lunghezza e riconosci la relazione tra le due grandezze.

c Determina la resistività della costantana.

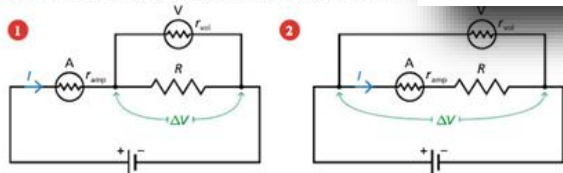
Tab. 1

d (mm)	0,35	0,55	0,70
R (Ω)	4,82	2,09	1,24

Tab. 2

ℓ (cm)	30	50	80
R (Ω)	0,64	1,04	1,74

9 Amperometri e voltmetri devono essere inseriti nei circuiti con attenzione, quando vogliamo misurare il valore incognito della resistenza R di un componente. Vogliamo verificare che la configurazione 1 è adatta per la misura della resistenza dell'amperometro, la 2 per resistenze grandi che siano di un voltmetro. Per valori intermedi della resistenza da misurare, i due metodi



8 **CALCOLATRICE GRAFICA** Un insegnante sta preparando un'attività sulla seconda legge di Ohm per i suoi studenti. Si procura quattro fili di costantana (una lega di nichel-cromo) e misura la loro resistenza. I fili sono tutti lunghi 1,0 m; la resistenza è riportata nella Tabella 1, in funzione del diametro. In seguito, il docente prende il filo di diametro 0,55 mm, lo taglia in sezioni di lunghezza diversa e ne misura la resistenza. I dati raccolti sono riportati nella Tabella 2.

- a Rappresenta in un grafico la resistenza in funzione dell'area della sezione del filo. Che relazione esiste tra le due grandezze?
- b Disegna in un grafico la resistenza del filo da 0,55 mm in funzione della lunghezza e riconosci la relazione tra le due grandezze.
- c Determina la resistività della costantana.

Tab. 1

d (mm)	0,35	0,55	0,70	1,0
R (Ω)	4,82	2,09	1,24	0,66

Tab. 2

ℓ (cm)	30	50	80	100
R (Ω)	0,64	1,04	1,74	2,09

a Assumi che il voltmetro e l'amperometro siano ideali e dimostra che in entrambi i casi il valore della resistenza incognita si ottiene dividendo la tensione misurata dal voltmetro per la corrente misurata dall'amperometro: $R = \Delta V / I$ (1)

Supponi ora che gli strumenti siano reali e che l'amperometro abbia una resistenza interna $r_{amp} = 1,0 \Omega$ e il voltmetro una resistenza interna $r_{vol} = 1,0 \text{ M}\Omega$.

b Immagina che la resistenza che vuoi misurare sia piccola, per esempio di $5,0 \Omega$. Per entrambi i circuiti determina il valore di I e di ΔV misurati dall'amperometro e dal voltmetro, applica la formula (1) e deduci il valore di R che risulterebbe dalle due misure. Che cosa osservi? Quale delle due configurazioni fornisce la misura più precisa ed

12 **CALCOLATRICE GRAFICA** Un circuito è composto da un resistore di resistenza R collegato a una batteria di fem \mathcal{E} e resistenza interna r . Al cambiare di R , variano anche l'intensità I della corrente erogata dal generatore e la tensione ai suoi capi. La tabella mostra i valori ottenuti con sei diversi resistori:

I (mA)	70	180	320	520	630	890
ΔV (V)	8,7	8,4	8,2	7,8	7,5	7,1

6 MATEMATICA E FISICA $\int dx$ Dimostriamo la legge del massimo tempo in un riferimento inerziale. Consideriamo due eventi A e B causalmente connessi e un orologio O la cui linea universo è la retta che congiunge A e B . Nel riferimento inerziale \mathcal{R} solidale a O , gli eventi A e B avvengono nello stesso punto (quello dove si trova O) e il tempo tra di loro (misurato da O) è il tempo proprio $\Delta t_{AB} = t_B - t_A$. Consideriamo un orologio O' la cui linea universo passa per A e B , ma è curva. Se $v(t)$ è il modulo della velocità di O' in \mathcal{R} , il tempo tra i due eventi misurato da O' è $T_{AB} = \int_{t_A}^{t_B} \sqrt{1 - \frac{v(t)^2}{c^2}} dt$.

7 I risultati degli esperimenti di Pound e Rebka sul redshift gravitazionale e quelli dell'esperimento di Briatore e Leschiutta sulla curvatura dello spaziotempo sono strettamente collegati. Immagina una sorgente che emette verso l'alto un "treno d'onda" cioè emette un'onda elettromagnetica di frequenza f_E per un tempo ΔT_E .

- Mostra che l'onda emessa contiene un numero di creste pari a $f_E \Delta T_E$.
- Un rilevatore si trova a un'altezza h sopra la sorgente, in un campo gravitazionale uniforme \vec{g} . Esprimi la frequenza f_R dell'onda ricevuta in termini di h e f_E .



Notando che essere $v(t) =$ grale per din

PROVA FINALE

Prova di fisica – Il GPS e la relatività

Ogni satellite del sistema GPS emette continuamente un segnale radio con la propria posizione e l'ora segnata da un orologio atomico che porta a bordo e percorre un'orbita approssimativamente circolare di raggio 26600 km con un periodo $T_R = 12$ h, misurato in un riferimento inerziale \mathcal{R} solidale al centro della Terra. L'orbita del satellite è percorsa nello stesso verso di rotazione della Terra.



A causa della rotazione terrestre, un satellite ripassa sopra un punto P della superficie terrestre dopo aver percorso due orbite. Considera i due segnali emessi in due passaggi successivi sopra il punto P . Sia T' l'intervallo di tempo tra gli invii dei due segnali misurato dall'orologio del satellite e T quello tra la ricezione degli stessi segnali misurato da un orologio posto in P . Possiamo assumere $T = 2 T_R$.

T' è diverso da T a causa di due effetti relativistici: quello dovuto al moto del satellite in \mathcal{R} e quello dovuto al campo gravitazionale terrestre.

- Trascura la presenza del campo gravitazionale e calcola la differenza ΔT_v tra T' e T .
- Trascuriamo ora il moto del satellite in \mathcal{R} . La relatività generale prevede una differenza $\Delta T_g = T' - T$ dovuta al campo gravitazionale, pari a $|\Delta T_g| = 46 \mu s$. Osservando che l'orologio in orbita si trova a una quota superiore a quella dell'orologio posto in P e facendo riferimento all'esperienza di Briatore e Leschiutta, determina se $\Delta T_g > 0$ o $\Delta T_g < 0$.

La differenza tra T' e T dovuta a entrambi gli effetti è data da $T' - T = \Delta T_v + \Delta T_g$.

Un ricevitore GPS (come quelli degli smartphone) determina la propria posizione misurando la distanza $c\Delta t$ che lo separa da almeno quattro satelliti, dove Δt è il tempo impiegato dal segnale radio del satellite a raggiungerlo, ottenuto come differenza tra l'ora di ricezione e quella di invio del segnale.

- Mostra che, se non tenesse conto degli effetti relativistici, il satellite GPS fornirebbe l'orario del suo passaggio con un errore di 39 μs al giorno rispetto a un orologio posto sulla Terra e questo comporterebbe un errore progressivo sulla posizione del ricevitore di oltre 11 km al giorno, rendendo il sistema sostanzialmente inutile.

PROVA F

Prova di fisica

Ogni satellite del radio con la p atomico che por mente circolare misurato in un Terra. L'orbita d zione della Terra A causa della rot punto P della su Considera i due segnali misurato in P . Possiamo a T' è diverso da gravitazionale terrestre.

- Trascura la presenza del campo gravitazionale e calcola la differenza ΔT_v tra T' e T .
- Trascuriamo ora il moto del satellite in \mathcal{R} . La relatività generale prevede una differenza $\Delta T_g = T' - T$ dovuta al campo gravitazionale, pari a $|\Delta T_g| = 46 \mu s$. Osservando che l'orologio in orbita si trova a una quota superiore a quella dell'orologio posto in P e facendo riferimento all'esperienza di Briatore e Leschiutta, determina se $\Delta T_g > 0$ o $\Delta T_g < 0$.

La differenza tra T' e T dovuta a entrambi gli effetti è data da $T' - T = \Delta T_v + \Delta T_g$. Un ricevitore GPS (come quelli degli smartphone) determina la propria posizione misurando la distanza $c\Delta t$ che lo separa da almeno quattro satelliti, dove Δt è il tempo impiegato dal segnale radio del satellite a raggiungerlo, ottenuto come differenza tra l'ora di ricezione e quella di invio del segnale.

- Mostra che, se non tenesse conto degli effetti relativistici, il satellite GPS fornirebbe l'orario del suo passaggio con un errore di 39 μs al giorno rispetto a un orologio posto sulla Terra e questo comporterebbe un errore progressivo sulla posizione del ricevitore di oltre 11 km al giorno, rendendo il sistema sostanzialmente inutile.

particelle e le onde

corso digitale ganizzato playlist, con:



- Esercizi autocorrettivi
- Sperimenta
- Un'idea in più

questa Unità

della fisica classica

- L'effetto fotoelettrico
- L'effetto Compton
- Il corpo nero
- Le onde di de Broglie e la funzione d'onda
- I processi di misura e le relazioni di indeterminazione
- L'equazione di Schrödinger
- Una nuova grandezza fisica: lo spin

La meccanica quantistica alla base delle moderne tecnologie

All'inizio del XX secolo, mentre Einstein con la teoria della relatività cambiava la nostra concezione dello spazio e del tempo, un nutrito gruppo di fisici (tra cui Einstein stesso) gettava le basi della meccanica quantistica, la teoria che ci permette di interpretare correttamente la fisica del mondo atomico e subatomico. Apparentemente ricca di incomprensibili stranezze, dovute in realtà alla lontananza dei fenomeni microscopici dalla nostra esperienza sensoriale, la meccanica quantistica fa oggi parte della nostra vita quotidiana: solo grazie al suo sviluppo è infatti possibile costruire laser, pannelli fotovoltaici, fotocellule, i sensori ottici delle telecamere digitali, i moderni monitor e televisori, rilevatori termici a distanza, i microprocessori che controllano gli apparati elettronici e moltissimi altri componenti di oggetti di uso comune.

La meccanica qu delle moderne t

All'inizio del XX secolo, mentre Einstein con la teoria della relatività cambiava la nostra concezione dello spazio e del tempo, un nutrito gruppo di fisici (tra cui Einstein stesso) gettava le basi della meccanica quantistica, la teoria che ci permette di interpretare correttamente la fisica del mondo atomico e subatomico. Apparentemente ricca di incomprensibili stranezze, dovute in realtà alla lontananza dei fenomeni microscopici dalla nostra esperienza sensoriale, la meccanica quantistica fa oggi parte della nostra vita quotidiana: solo grazie al suo sviluppo è infatti possibile costruire laser, pannelli fotovoltaici, fotocellule, i sensori ottici delle telecamere digitali, i moderni monitor e televisori, rilevatori termici a distanza, i microprocessori che controllano gli apparati elettronici e moltissimi altri componenti di oggetti di uso comune.

Nello studio della Fisica, alcune grandezze fisiche, come ad esempio la velocità di un corpo, assumono valori diversi se misurate in sistemi di riferimento diversi, mentre altre, come la massa, hanno sempre lo stesso valore. La teoria della relatività approfondisce questa analisi. Per iniziare abbiamo bisogno di introdurre il concetto di "evento" e di richiamare la sua relazione con i sistemi di riferimento.

PENSA CON LA FISICA

Giovanni e Francesca sono a bordo di una nave da crociera lungo i fiordi norvegesi. Tutte le mattine, la sveglia appoggiata al comodino della loro cabina suona alle 7 in punto.

- 1 Quando Giovanni e Francesca si svegliano, si trovano sempre nello stesso posto?
- 2 La loro sveglia, si trova sempre nello stesso posto? E la nave?
- 3 La Terra, ogni mattina alle 7, si trova sempre nello stesso posto?



Spesso un sistema di riferimento è detto semplicemente riferimento.



Fig. 1

- Possiamo immaginare che un riferimento sia ancorato a una struttura rigida. Si dice che il riferimento è solidale ad esempio a una stanza, un laboratorio, un treno o la Terra. L'insieme degli strumenti è quindi **rigido**, cioè non si deforma nel tempo. Idealmente però un riferimento si estende a tutto lo spazio.
- Una volta scelto il sistema di riferimento, possiamo anche fissare un **sistema di assi cartesiani** ancorati ad esso. In questo modo possiamo **identificare un evento** tramite **quattro coordinate** ($x; y; z; t$): le coordinate spaziali ($x; y; z$), che indicano dove esso avviene, e la coordinata temporale (t) che indica quando esso avviene.

In **Figura 1** è riportata una rappresentazione ideale di un riferimento, in cui sono mostrati orologi per misurare i tempi e righelli per misurare le distanze. La scelta del sistema di riferimento è completamente arbitraria ma è importante renderla esplicita: vediamo perché.

La relatività delle misure di distanza

La sveglia sul comodino di Giovanni e Francesca, che hai incontrato nell'attività iniziale, suona sia martedì mattina che mercoledì mattina alle 7.

1. Rispetto al **riferimento della nave**, l'evento "martedì suona la sveglia" e l'evento "mercoledì suona la sveglia" avvengono nello stesso punto, cioè sul comodino della cabina di Giovanni e Francesca. Tutti i passeggeri della nave concorderebbero nel dire che la sveglia non si è spostata rispetto a questo sistema di riferimento. La **distanza spaziale** tra i due eventi è quindi **nulla**.
2. Rispetto al **riferimento della Terra**, la nave in un giorno si è spostata da un fiordo all'altro, quindi la sveglia suona in due punti diversi. La **distanza spaziale** tra i due eventi in questo sistema di riferimento **non è nulla**.
3. Rispetto al **Sole**, la Terra in un giorno si sposta di circa 2500000 km, quindi nel riferimento del Sole i due risvegli avvengono molto lontani uno dall'altro. Anche in questo caso, la **distanza spaziale** tra i due eventi **non è nulla** ed è **maggiore** rispetto a quella vista al punto 2.

PENSA CON LA FISICA

Giovanni e Francesca sono a bordo di una nave da crociera lungo i fiordi norvegesi. Tutte le mattine, la sveglia appoggiata al comodino della loro cabina suona alle 7 in punto.

- 1 Quando Giovanni e Francesca si svegliano, si trovano sempre nello stesso posto?
- 2 La loro sveglia, si trova sempre nello stesso posto? E la nave?
- 3 La Terra, ogni mattina alle 7, si trova sempre nello stesso posto?

Ammettiamo di voler misurare la durata di un viaggio in treno, ad esempio da Roma a Milano.

1. In un **sistema di riferimento solidale alla Terra**, abbiamo bisogno di due orologi: uno alla stazione di Roma e uno alla stazione di Milano. Se i due orologi sono stati ben sincronizzati, cioè regolati in modo da segnare la stessa ora, la durata del viaggio si otterrà semplicemente sottraendo l'ora di partenza all'ora di arrivo.



1. Nel primo caso, poiché $\frac{v}{c} = 8,33 \times 10^{-7}$ è molto piccola, se provi a usare la calcolatrice per calcolare Δt_{AB} troverai esattamente 7200 s. La ragione è che la differenza tra τ_{AB} e Δt_{AB} è così piccola che la calcolatrice non riesce a calcolarla.

Noi però possiamo aiutarci con l'espressione $\gamma \approx 1 + \frac{v^2}{c^2}$, valida per $\frac{v}{c} \ll 1$. La differenza tra la misura della durata nei due riferimenti è:

$$\begin{aligned} \Delta t_{AB} - \tau_{AB} &= \tau_{AB} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) - \tau_{AB} = \tau_{AB} \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} = \\ &= 7200 \text{ s} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{(250 \text{ m/s})^2}{(3,00 \times 10^8 \text{ m/s})^2} = 2,5 \times 10^{-9} \text{ s} = 2,5 \text{ ns} \end{aligned}$$

La differenza è estremamente piccola e per questo non possiamo percepirla direttamente.

gli strumenti e tutti gli orologi, quando sono fermi sul razzo o quando sono fermi sulla Terra, **scandiscono il tempo esattamente alla stessa maniera**. Questo vale anche per l'orologio a luce e per gli orologi "naturalisti" o "biologici", come il decadimento di una particella radioattiva o la crescita dei capelli, quindi non c'è alcun "rallentamento del tempo" né a bordo del razzo, né sulla Terra.

NELLA STORIA

Un'importante e storica conferma sperimentale delle predizioni della teoria della relatività fu fornita nel 1940 da Bruno Rossi e David Hall, che utilizzarono dei rilevatori di muoni.

Nel 1963, David Frisch e James Smith condussero un esperimento simile, che è oggetto della prova che trovi alla fine dell'Unità e del quale puoi trovare in rete un dettagliato resoconto video.

I muoni sono particelle che vengono continuamente prodotte nell'alta atmosfera dalle collisioni con altre particelle provenienti dallo spazio. Essi sono instabili e dimezzano il loro numero dopo un intervallo di tempo detto tempo di dimezzamento. L'esperimento ha mostrato che se T_0 è il tempo di dimezzamento misurato nel riferimento di quiete dei muoni (tempo proprio fra gli eventi "sono presenti un certo numero N di muoni" e "sono presenti $\frac{N}{2}$ muoni"), il tempo

È dunque l'orologio di Marco o quello di Sara a "ticchettare" più lentamente? Nessuno dei due. Né Marco né Sara si accorgono di alcunché di strano dovuto alla loro velocità relativa e per entrambi il tempo scorre esattamente alla stessa maniera, grazie al principio di relatività: poiché sono governati sempre dalle stesse leggi fisiche, tutti

tempo tra due scatti misurato dal riferimento della Terra varrebbe $\Delta t_{Terra} = \tau_{AB}$, quindi sarebbe maggiore di τ . Si potrebbe quindi pensare che un orologio in moto "ticchetti" più lentamente di uno fermo e che nel riferimento del razzo il tempo scorra più lentamente. Questo modo di esprimersi non è però corretto. Un esempio può aiutarci a capire perché.

Supponiamo che Marco guardi un film mentre si trova su un razzo e Sara guardi lo stesso film in un cinema sulla Terra. Sara rileva che il proprio film dura due ore (tempo proprio tra l'inizio e la fine del film proiettato nel cinema); per Marco il film di Sara dura più di due ore, perché il riferimento della Terra si muove rispetto al razzo. Sul suo razzo, Marco rileva che il proprio film dura due ore (tempo proprio tra l'inizio e la fine del film proiettato sul razzo); per Sara il film di Marco è durato più di due ore, perché il razzo si muove rispetto alla Terra.

Dunque quale dei due film è durato più a lungo? Dipende dal sistema di riferimento. Sia per Sara che per Marco, il proprio film dura due ore e quello dell'altra persona più di due ore perché l'intervallo di tempo tra due eventi (in questo caso inizio e fine del film, quello proiettato nel cinema e quello proiettato sul razzo) dipende dal riferimento.

È dunque l'orologio di Marco o quello di Sara a "ticchettare" più lentamente? Nessuno dei due. Né Marco né Sara si accorgono di alcunché di strano dovuto alla loro velocità relativa e per entrambi il tempo scorre esattamente alla stessa maniera, grazie al principio di relatività: poiché sono governati sempre dalle stesse leggi fisiche, tutti

- B misurato con due orologi sincronizzati
- C in un riferimento inerziale in cui i due eventi accadono nello stesso punto
- D misurato in un riferimento solidale con la Terra

34 Per misurare il tempo proprio è necessario avere:

- A un orologio
- B un intero sistema di riferimento
- C almeno due orologi sincronizzati
- D almeno due orologi sincronizzati e un metro



RIFLETTI, INTERPRETA, COLLEGA

37 **TROVA L'ERRORE** Nell'orologio a luce, poiché la velocità della luce è invariante, il tempo misurato tra due ricezioni del segnale luminoso è lo stesso in tutti i riferimenti.

- B non dipende dal sistema di riferimento
- C è minima nel riferimento in cui il fenomeno inizia e finisce nello stesso punto
- D è massima nel riferimento in cui il fenomeno inizia e finisce nello stesso punto

36 Un orologio è montato su un razzo. Tra due scatti della sua lancetta dei secondi (eventi A e B) nel riferimento solidale al razzo trascorre:

- A meno di un secondo poiché il razzo sta viaggiando a una certa velocità rispetto alla Terra
- B più di un secondo perché i tempi si dilatano
- C meno di un secondo ma non si può dire quanto perché la risposta dipende dalla velocità del razzo
- D un secondo, che coincide con il tempo proprio τ_{AB}

38 **SPIEGA PERCHÉ** Spiega perché un sistema non può viaggiare a velocità superiori a quella della luce nel vuoto.



Applica la formula

Neutroni con quantità di moto di modulo $p = 3,591 \times 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ incidono su una parete con due strette fenditure distanti $126 \mu\text{m}$ tra loro. Su uno schermo a distanza $L = 5,0 \text{ m}$ dalla parete viene rilevata una figura di interferenza. Qual è la distanza Δx tra il picco centrale e i primi massimi secondari?

La lunghezza d'onda dei neutroni è:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{3,591 \times 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m/s}} \approx 1,845 \times 10^{-9} \text{ m}$$

Dato che la distanza d tra le fenditure è $d \gg \lambda$, per calcolare Δx possiamo usare l'angolo θ molto piccolo.

$$\Delta x = L \cdot \theta$$

$$= 5,0 \text{ m} \cdot \frac{\lambda}{d} = 5,0 \text{ m} \cdot \frac{1,845 \times 10^{-9} \text{ m}}{126 \times 10^{-6} \text{ m}} \approx 7,3 \times 10^{-3} \text{ m} = 7,3 \text{ mm}$$

Per angoli θ molto piccoli si ha $\theta \approx \sin \theta \approx \tan \theta$.

La fisica che non si può associare un'onda

Si può associare un'onda alla pallina da tennis lanciata a 25 m/s (pari a 90 km/h)? La risposta è sì, ma sarà poi dell'onda associata? Proviamo a calcolare la lunghezza d'onda λ della pallina lanciata a 25 m/s (pari a 90 km/h).

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{0,057 \text{ kg} \cdot 25 \text{ m/s}} \approx 2,3 \times 10^{-36} \text{ m}$$

Per avere un'idea di tale lunghezza d'onda, possiamo paragonarla alla lunghezza di una pallina da tennis ($\approx 6,5 \text{ cm}$) o alla lunghezza d'onda della luce visibile ($\approx 400 \text{ nm}$). Come abbiamo visto nell'Unità 23, la lunghezza d'onda della luce è comparabile alla lunghezza delle fenditure e all'ampiezza di una barriera. Per tale motivo è impossibile che la pallina da tennis manifesti la sua natura ondulatoria attraverso fenomeni di diffrazione e interferenza.



Lo stato S di una particella è descritto completamente dalla sua **funzione d'onda** che associa a ogni punto dello spazio \vec{r} e a ogni istante di tempo t un numero complesso:

$$\Psi_S(\vec{r}, t)$$

MATE & FISICA

Un numero complesso z è composto da due numeri reali a e b , rispettivamente, la parte

L'apparente doppia natura della radiazione e della materia va spesso sotto il nome di **dualismo onda-corpuscolo** o onda-particella: un elettrone o un fotone è dunque un'onda o una particella?

La risposta migliore è, probabilmente, **nessuna delle due**. Infatti, nella teoria quantistica completa, ogni stato della radiazione (fotoni) e della materia (elettroni, protoni, neutroni, ...) è descritto da una **funzione d'onda** che fonde il concetto di particella con quello dell'onda di de Broglie.

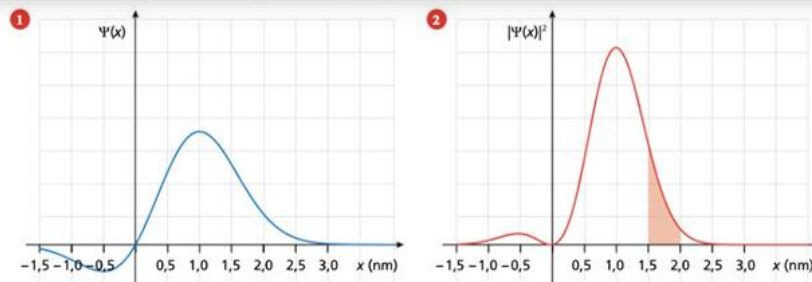
Né onde né particelle: la funzione d'onda e la densità di probabilità

I risultati degli esperimenti che abbiamo descritto in questa unità mostrano che fotoni, elettroni e altre particelle esibiscono comportamenti tipici dei **fenomeni ondulatori** quando si propagano e comportamenti tipici delle **particelle** quando a livello microscopico interagiscono con altre particelle.

L'apparente doppia natura della radiazione e della materia va spesso sotto il nome di **dualismo onda-corpuscolo** o onda-particella: un elettrone o un fotone è dunque un'onda o una particella?

La risposta migliore è, probabilmente, **nessuna delle due**. Infatti, nella teoria quantistica completa, ogni stato della radiazione (fotoni) e della materia (elettroni, protoni, neutroni, ...) è descritto da una **funzione d'onda** che fonde il concetto di particella con quello dell'onda di de Broglie.

parte immaginaria, in $\Psi(x)$ il suo modulo quadro. L'area rossa rappresenta la probabilità di rilevare la particella in un punto tra $1,5$ e $2,0 \text{ nm}$.

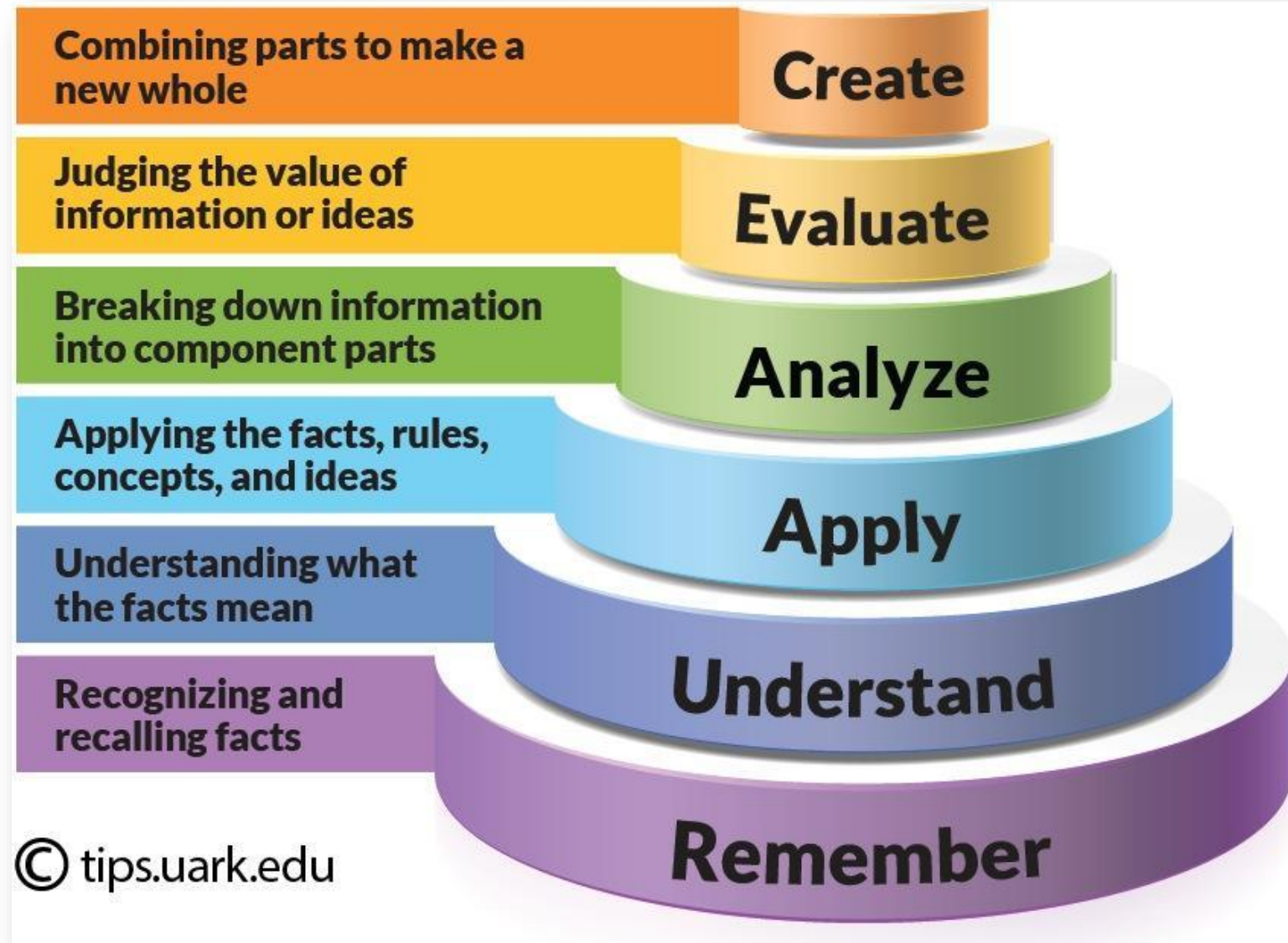


La sovrapposizione delle funzioni d'onda

Nei due casi in cui è aperta solo la fenditura F_1 o solo la F_2 , chiamiamo rispettivamente $\Psi_1(x)$ e $\Psi_2(x)$ le funzioni d'onda della particella nell'istante $t = t_R$ in cui viene rilevata. Le funzioni P_1 e P_2 che abbiamo rappresentato sono date da:

$$P_1(x) = |\Psi_1(x)|^2 \quad P_2(x) = |\Psi_2(x)|^2$$

TASSONOMIA DI BLOOM



La fisica che non ti aspetti!

Le pantofole sono calde e il pavimento è freddo?



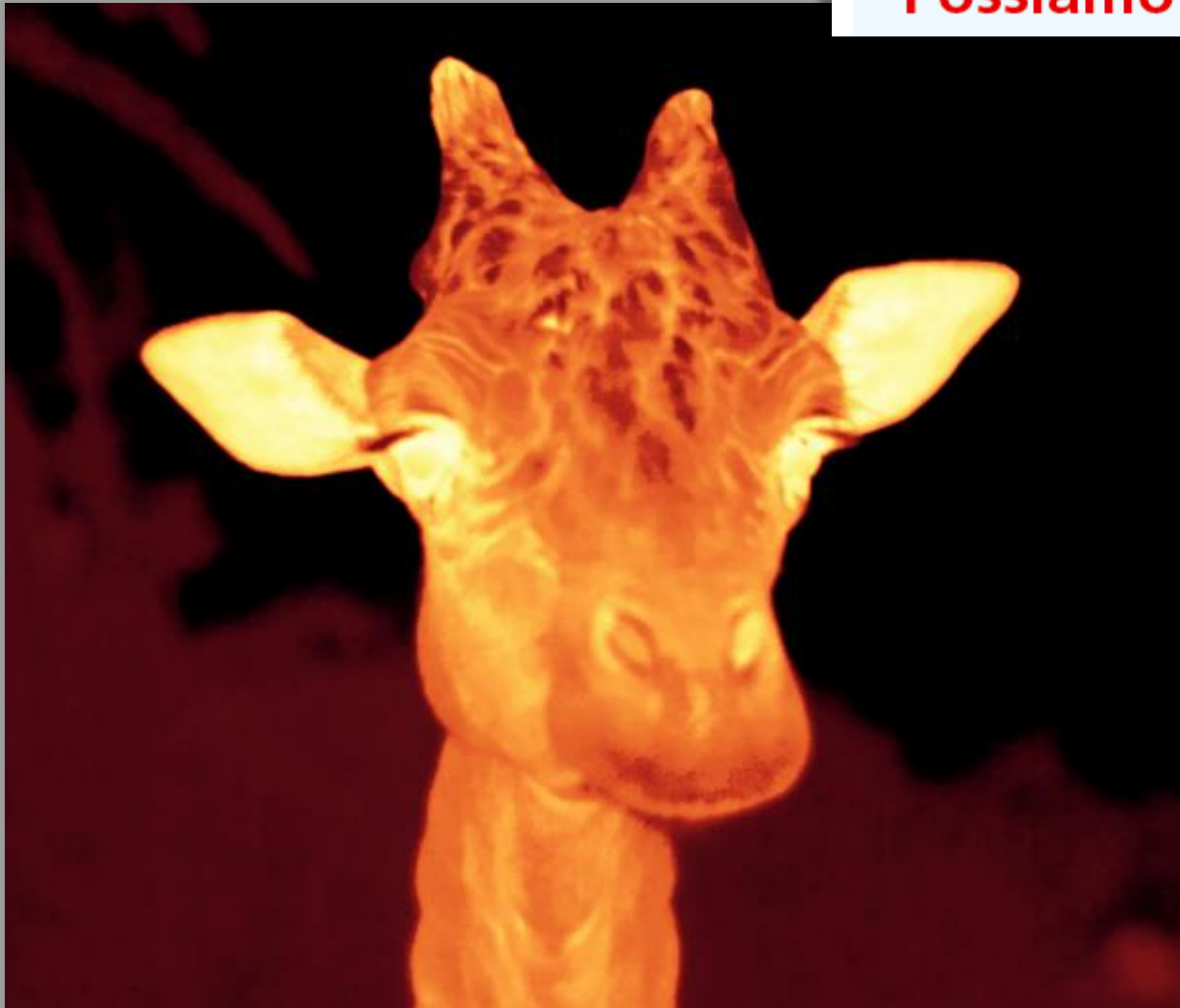
La fisica che non ti aspetti!

Acceleriamo solo con il pedale dell'acceleratore?



La fisica che non ti aspetti!

Possiamo brillare di luce propria?



La fisica che non ti aspetti!

Si può intrappolare la luce in un percorso a curve?



La fisica che non ti aspetti!

Chi vince nel tiro alla fune?



Le playlist di Fisica - I colori dell'Universo

Clicca su una delle playlist attive per accedere al percorso digitale!

Le 35 playlist coprono tutti i temi della fisica, dalla meccanica a grazie a un percorso costituito da video di diverse tipologie (Video intervallati da esercizi autocorrettivi (Mettiti alla prova) e concetti

500 videolezioni
100 batterie di esercizi autocorrettivi

DEMO



Primo principio
della termodinamica

CALORIMETRIA E TERMODINAMICA
16. Primo principio della
termodinamica



Induzione
elettromagnetica

ELETTROMAGNETISMO
26. Induzione
elettromagnetica



ISOLAMENTO

31 Marzo 2021



insegnare › Fisica

SS2G

**Playlist di fisica,
esperimenti e studenti
protagonisti: il digitale per
appassionarsi alla fisica**

31/03/2021

Dalle 15:00 alle 16:30

Con: Marica Perini - Roberto Vanzetto -
Alan Zamboni

Scopri di più →

Fisica – I colori dell'Universo

per il quinquennio dei licei scientifici

5° anno



4° anno



3° anno



1° biennio



Petrini, 2021



Grazie