



DEASCUOLA

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

Insegnare con... Sistema Fisica

*Dal laboratorio alle esplorazioni
con l'Intelligenza Artificiale*

Relatori:

Franco Bocci

Giuseppe Milanesi

Giovanna Malegori

Massimiliano Virdis





DEASCUOLA

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

Insegnare con... Sistema Fisica

*Dal laboratorio alle esplorazioni
con l'Intelligenza Artificiale*

Relatore:
Franco Bocci



Sistema fisica *per il quinquennio dei licei scientifici*



Programma

- ① Il concetto di campo
- ② La relatività: ne vale la pena?
- ③ Percorso di ripasso, recupero e potenziamento
- ④ Dal laboratorio alle esplorazioni con l'Intelligenza Artificiale

Il campo

- Una prima **embrionale comparsa** del concetto di campo si ha solo verso la metà dell'Ottocento, nel lavoro di **Faraday**.
- Fino a quel momento la scena culturale era stata dominata dal **paradigma newtoniano**, che **Ampère** così descrive nel 1826:
- *«Newton ci ha insegnato che ogni fenomeno naturale dev'essere ricondotto per mezzo del calcolo, a forze agenti sempre tra due particelle materiali secondo la retta che le congiunge»*
- Negli anni a cavallo del 1780 **Coulomb** aveva con successo applicato questo paradigma ai fenomeni elettrici.

Il concetto di campo

Nonostante i suoi successi il concetto di **forze istantanee a distanza** appariva difficile da accettare, persino a Newton, che trovava assurdo:

«che un corpo possa agire su un altro a distanza, senza la mediazione di qualcosa»

La **faticosa genesi** storica di questo concetto ci fa capire che si tratta di un concetto delicato e non semplice.

Il concetto di campo richiede un alto livello di astrazione:

- è immateriale
- non è **percepibile** dai nostri sensi
- ci sono **enti** che giocano un doppio ruolo: **sorgenti/rivelatori**
- una **sorgente** «sente» il campo generato dalle altre sorgenti ma non il proprio
- ...

Il campo gravitazionale



UNITÀ 6

La gravitazione

Spazio, l'ultima frontiera
La sonda Voyager 1, lanciata nel 1977, ha sorvolato Giove e Saturno e, superata l'orbita di Plutone, ha scattato la prima fotografia della Terra, del Sole e dei pianeti da un punto esterno al Sistema solare, oltre le orbite dei pianeti. Nel 2012 la sonda ha oltrepassato il confine dell'eliosfera, dove le particelle cariche emesse dal Sole sono più numerose di quelle provenienti dal resto dell'Universo, diventando così il primo oggetto costruito dall'uomo a uscire nello spazio interstellare e, attualmente, anche quello più distante dalla Terra. Gli scienziati e i tecnici hanno potuto indirizzare la traiettoria della sonda grazie alla conoscenza della legge di gravitazione universale.

Le lezioni di questa Unità

- 1 Da Tolomeo a Copernico
- 2 Da Copernico a Keplero
- 3 La legge di gravitazione universale
- 4 Da Newton a Keplero
- 5 Il moto dei pianeti
- 6 Energia potenziale e orbite gravitazionali
- 7 Il campo gravitazionale
- 8 Le forze di marea

DEAFlix
Percorso digitale organizzato in playlist con:
1 Visione d'insieme 2 Un'idea in più
3 Lezione 4 Test di verifica
5 Esercizio svolto
6 Mettiti alla prova [vai a pagina 326](#)

ONLINE

Le lezioni di questa Unità

- 1 Da Tolomeo a Copernico
- 2 Da Copernico a Keplero
- 3 La legge di gravitazione universale
- 4 Da Newton a Keplero

- 5 Il moto dei pianeti
- 6 Energia potenziale e orbite gravitazionali
- 7 Il campo gravitazionale
- 8 Le forze di marea



- Campo vs Forze istantanee a distanza
- Il campo di una massa puntiforme
- Il campo di due o più masse (principio di sovrapposizione)

Il campo elettrico



UNITÀ 15

Il campo elettrico

L'impulso nervoso

Modificando la sua permeabilità, la membrana cellulare di un neurone è in grado di regolare le concentrazioni degli ioni sodio (Na^+) e potassio (K^+) all'interno della cellula. In condizioni di riposo, all'interno della membrana dei neuroni è presente una concentrazione di carica negativa più alta che all'esterno. L'impulso nervoso, che ti permette di pensare o di muovere i muscoli, fa variare la permeabilità della membrana e penetrare nella cellula un gran numero di ioni sodio. Le membrane delle cellule vicine, a seguito di questo cambiamento, a loro volta modificano la loro permeabilità e, quindi, la concentrazione degli ioni nelle cellule si innescano un processo a catena che propaga l'impulso nervoso. Questo processo avviene grazie a un cambiamento nel campo elettrico, l'oggetto di questa Unità.

Le lezioni di questa Unità

- 1 Il campo elettrico generato da una carica
- 2 Il campo elettrico generato da più cariche
- 3 Le linee di campo

DEAFLEX

Percorso digitale organizzato in playlist con:

➤ Visione d'insieme	➤ Sperimenta
➤ Lezione	➤ Un'idea in più
➤ Esercizio svolto	➤ Test di verifica
➤ Mettiti alla prova	➔ Vai a pagina 250

Le lezioni di questa Unità

- 1 Il campo elettrico generato da una carica
- 2 Il campo elettrico generato da più cariche
- 3 Le linee di campo

Le lezioni di questa Unità

- 4 I dipoli
- 5 La legge di Gauss
- 6 Applicazioni della legge di Gauss
- 7 Il campo elettrico nella materia

Le lezioni di questa Unità

- 1 Il campo elettrico generato da una carica
- 2 Il campo elettrico generato da più cariche
- 3 Le linee di campo

- 4 I dipoli
- 5 La legge di Gauss
- 6 Applicazioni della legge di Gauss
- 7 Il campo elettrico nella materia

Il flusso

Lezione 5

LA LEGGE DI GAUSS

Flusso di un campo vettoriale

Il flusso di un campo vettoriale è una grandezza molto importante. Alcune leggi fondamentali che governano la fisica dei campi elettrici, magnetici e gravitazionali possono infatti essere espresse in termini di flussi.

Per definire il flusso di un campo vettoriale, abbiamo bisogno di due elementi:

- un campo vettoriale;
 - una superficie orientata.
- La superficie non deve essere necessariamente materiale, può essere anche immaginaria, disposta nello spazio a nostro piacere, purché sia orientata.

Una superficie si dice **orientata** quando si fissa per essa un **verso di attraversamento**, analogamente a quanto si fa con una linea che si dice orientata quando se ne fissa un verso di percorrenza.

Immagina di colorare le due facce della superficie con colori diversi: verde e rosso. Scegliere un'orientazione per la superficie significa scegliere un verso di attraversamento: per esempio dalla faccia verde a quella rossa. Naturalmente la scelta opposta, dalla rossa alla verde, sarebbe altrettanto valida.

ANALISI E FISICA

Per quanto possa sembrare strano, esistono superfici che non possono essere orientate. La più nota è il nastro di Möbius, che può costruire tu stesso con facilità prendendo una strisciolina di carta e avvolgendola 180° dopo aver ruotato di 360° uno di voi.

Questa superficie ha una strana proprietà: ha una faccia unica! Puoi verificarlo incidendo a colore quella che sembra "una delle due" facce. Ti accorgerai che finisci per colorare "tutte e due" con lo stesso colore. È evidente che per una superficie del genere non si può stabilire un verso di attraversamento.



Flusso di un campo uniforme attraverso una superficie piana

Consideriamo dapprima il caso più semplice possibile, e cioè quello di:

- un campo vettoriale **uniforme**;
 - una superficie orientata piana (cioè che giace su un piano).
- A ogni superficie piana orientata è possibile associare un **vettore superficie**, detto anche **vettore area**.

Dato una superficie orientata piana, il vettore superficie $\vec{A}$ ha:

- modulo A pari all'area della superficie;
- direzione perpendicolare alla superficie;
- verso corrispondente al verso di attraversamento della superficie.



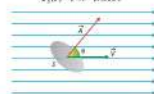
ANALISI E FISICA

La superficie non si confonde con l'area. La superficie è l'ente geometrico, l'ente la misura della sua estensione. Tra una superficie e la sua area c'è la stessa relazione che esiste tra una linea e la sua lunghezza.

Posiamo ora fornire la definizione di flusso nei casi particolari che stiamo così derivando.

DEFINIZIONE: FLUSSO DI UN CAMPO UNIFORME ATTRAVERSO UNA SUPERFICIE ORIENTATA PIANA

Il **flusso** di un campo vettoriale $\vec{V}$ uniforme attraverso una superficie orientata piana S si indica con $\Phi_V(S)$ ed è dato dal prodotto scalare tra il vettore $\vec{V}$ e il vettore superficie $\vec{A}$:

$$\Phi_V(S) = \vec{V} \cdot \vec{A} = V A \cos \theta$$


Esercizio 5. La legge di Gauss

Il simbolo Φ_A fa la lettera "phi" maiuscola dell'alfabeto greco, ed è equivalente alla nostra "phi".

Comprendi la definizione

- Il flusso è direttamente proporzionale al modulo di $\vec{V}$ e all'area della superficie.
- L'angolo θ è quello tra il vettore $\vec{V}$ del campo e il vettore superficie $\vec{A}$.
- Il flusso è una quantità scalare: può essere positivo o negativo. Il segno dipende dall'angolo θ e è positivo quando le linee di campo attraversano la superficie nel verso che è stato scelto come positivo.
- Il flusso è massimo (in valore assoluto) quando la superficie è perpendicolare al campo, quindi il vettore superficie è parallelo al campo, ossia $\theta = 0$ (e cioè $\theta = \pm 1$ oppure $\theta = 180^\circ$ e cioè $\theta = -1$).
- Il flusso è nullo quando la superficie è parallela al campo e quindi il vettore superficie è perpendicolare al campo, ossia $\theta = 90^\circ$ e cioè $\theta = 0$.
- L'unità di misura del flusso dipende dal tipo di campo vettoriale. Per il campo elettrico è $\text{N m}^2/\text{C}$.
- Se cambiamo l'orientazione della superficie, cambia il verso del vettore superficie. L'angolo tra $\vec{V}$ e il nuovo vettore superficie $\vec{A}'$ è $\theta' = \pi - \theta$, quindi $\cos \theta' = -\cos \theta$ (il flusso cambia segno mantenendo lo stesso valore assoluto).



Applica la definizione

Un campo elettrico uniforme ha un'intensità di 820 N/C . Il flusso di questo campo attraverso un trapezio di area 640 cm^2 è $-19 \text{ Nm}^2/\text{C}$. Qual è l'angolo θ tra il campo elettrico e il vettore area associato al trapezio?

Dalla definizione di flusso abbiamo:

$$\cos \theta = \frac{\Phi_V(S)}{E A} = \frac{-19 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}}{820 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot 640 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = -0,36 \Rightarrow \theta = 110^\circ$$

PROVA TU Qual è, nel SI, l'unità di misura del flusso del campo gravitazionale?

UNITÀ 15 Campo elettrico

Flusso di un campo non uniforme su una superficie non piana

Come si può definire il flusso nel caso generico in cui il campo non sia uniforme e la superficie orientata è non sia piana?

Dobbiamo dividere S in tante parti $dS_1, dS_2, \dots, dS_N$, piccole abbastanza da poter essere considerate come superfici piane e che su di esse il campo sia uniforme. In questo modo, siamo in grado di calcolare il flusso attraverso le singole piccole parti, perché in ciascuna di esse abbiamo ricavato le condizioni del caso particolare visto in precedenza.

Detti $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \dots, \vec{V}_N$ i valori del campo nelle N parti in cui abbiamo diviso la superficie e $d\vec{A}_1, d\vec{A}_2, \dots, d\vec{A}_N$ i piccoli vettori superficie associati a ciascuna parte, abbiamo N flussi:

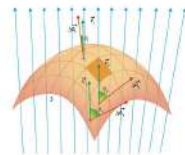
$$\Delta \Phi_1 = \vec{V}_1 \cdot d\vec{A}_1 \cos \theta_1$$

$$\Delta \Phi_2 = \vec{V}_2 \cdot d\vec{A}_2 \cos \theta_2$$

$$\Delta \Phi_N = \vec{V}_N \cdot d\vec{A}_N \cos \theta_N$$



dove ovviamente θ_i è l'angolo tra $\vec{V}_i$ e $d\vec{A}_i$, e così via.



Il flusso attraverso l'intera superficie è dato dalla somma di tali piccoli flussi. Possiamo quindi generalizzare la definizione di flusso a un campo vettoriale generico e a una superficie qualunque:

DEFINIZIONE (GENERALE): FLUSSO DI UN CAMPO VETTORIALE

$$\Phi_V(S) = \Delta \Phi_1 + \Delta \Phi_2 + \dots + \Delta \Phi_N = \sum_{i=1}^N \vec{V}_i \cdot d\vec{A}_i \cos \theta_i \quad (1)$$

Comprendi la definizione

- Il numero N deve essere molto grande, in modo che le superfici in cui abbiamo suddiviso S siano abbastanza piccole. Questo rende difficile il calcolo esplicito del flusso.
- Nella maggior parte dei casi in cui occorre calcolare il flusso utilizzando la definizione (1) si ricorre a un calcolo numerico con l'aiuto del computer o a metodi matematici più avanzati (calcolo integrale). In alcuni casi particolari, però, riusciamo a calcolare il flusso utilizzando proprio la (1).
- La definizione è valida per qualsiasi campo vettoriale $\vec{V}$, per ora ci concentriamo sul campo elettrico $\vec{E}$ e su quello gravitazionale $\vec{g}$. In seguito, tratteremo anche il flusso del campo magnetico $\vec{B}$.
- Se si scompone una superficie in due o più parti, il flusso totale è la somma dei flussi attraverso le singole parti.

ANALISI E FISICA

Dato l'aggettivo dS , $d\vec{A}$, dV è simbolo di una quantità infinitesimale.

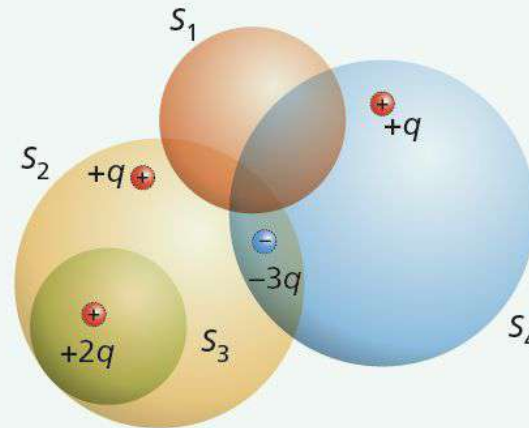
si chiama convenzionalmente per $\vec{A}$ che ha la m^2 di $d\vec{A}$ e si usa convenzionalmente per indicare la somma $\vec{A} = d\vec{A}_1 + \dots + d\vec{A}_N$.

Esercizi di lezione

- Fissa i concetti
- Pensa con la fisica
- Risolvi

110 La figura mostra un sistema di cariche e quattro superfici sferiche. Determina il flusso elettrico attraverso ciascuna superficie.

$$[\Phi_1 = 0; \Phi_2 = 0; \Phi_3 = +2q/\epsilon_0; \Phi_4 = -2q/\epsilon_0]$$



Esercizi di fine unità

TEST VERSO L'UNIVERSITÀ

- 1 Determinare la carica elettrica distribuita sulla superficie della Terra, sapendo che la stessa genera un campo elettrico sulla sua superficie la cui intensità è 200 N/C. Si assuma come valore per il raggio della Terra la quantità $6,38 \times 10^6$ m.

[A] Circa 90 000 C [C] Circa 450 000 N/C
[B] Circa 450 000 C [D] Circa 900 000 C

(Scienze Motorie)

- 2 Quattro cariche puntiformi sono posizionate ai vertici di un quadrato di diagonale $2a$, come mostrato in figura. Supponendo che la carica q sia positiva, quanto vale il modulo del campo elettrico al centro del quadrato?

[A] $\frac{5kq}{a^2}$ [C] $12\frac{kq}{a^2}$ [E] $19\frac{kq}{a^2}$
[B] $7\frac{kq}{a^2}$ [D] $13\frac{kq}{a^2}$

(Olimpiadi della Fisica, 1° livello, 2019)

- 3 Due cariche $q_1 = +4$ nC e $q_2 = -9$ nC sono poste alla distanza $d = 1$ m una dall'altra, come indicato in figura.

In quale punto il campo elettrico risultante è nullo?
[A] 4 m a destra di q_1 [D] 0,80 m a sinistra di q_1
[B] 0,4 m a destra di q_1 [E] 2 m a sinistra di q_1
[C] 0,31 m a destra di q_1



(Olimpiadi della Fisica, 1° livello, 2019)

- 4 Le linee di un campo elettrico:

[A] non si intersecano mai
[B] sono perpendicolari fra loro
[C] sono sempre parallele
[D] sono sempre linee rette

- 5 Il flusso del campo elettrico (teorema di Gauss) uscente da una superficie chiusa S è proporzionale:

[A] alla somma algebrica delle cariche contenute entro S
[B] al prodotto delle cariche contenute entro S
[C] alla somma algebrica delle cariche contenute entro S divisa per il potenziale dei punti di S
[D] al lavoro occorrente per portare le cariche all'interno della superficie
[E] al potenziale dei punti di S

(Medicina e chirurgia)

- 6 Dentro una superficie sferica è contenuto un dipolo elettrico le cui cariche hanno valore assoluto q . Qual è il flusso del campo elettrico attraverso la superficie?

[A] $2q/\epsilon_0$ [D] non ci sono sufficienti elementi per rispondere
[B] 0
[C] q/ϵ_0

- 7 La figura rappresenta tre distribuzioni piane, uniformi e infinite di carica, perpendicolari al piano della pagina con densità superficiali pari a $+\sigma$, $+2\sigma$ e $-\sigma$. In ogni punto il campo elettrico è diretto perpendicolarmente ai piani di carica.

Nel punto X l'intensità è il verso del campo sono:

[A] $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ verso sinistra [D] $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ verso destra
[B] $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ verso sinistra [E] $\frac{2\sigma}{\epsilon_0}$ verso destra
[C] 0

(Olimpiadi della Fisica, 1° livello, 2018)

- 8 Uno studente scrive le seguenti affermazioni circa i campi elettrici.

1 In un campo elettrico viene esercitata una forza su una carica.
2 Quando un campo elettrico è applicato a un conduttore le cariche libere nel conduttore si muovono.
3 Quando una carica si muove in un campo elettrico viene compiuto lavoro sulla carica.

Quali delle precedenti affermazioni sono sempre corrette?

[A] solo la 1 [D] solo la 1 e la 3
[B] solo la 2 [E] tutte e tre
[C] solo la 1 e la 2

(Olimpiadi della Fisica, 1° livello, 2015)

- 9 La costante dielettrica dell'acqua è circa 80. Se due cariche elettriche vengono poste in acqua, a una certa distanza, la forza con la quale interagiscono, rispetto al vuoto, è:

[A] la stessa [C] 6400 volte maggiore
[B] 6400 volte minore [D] 80 volte minore

- 10 Una quantità di carica Q viene depositata su un conduttore isolato costituito da una sfera piena dotata di una cavità sferica al suo interno. In condizioni statiche la carica si distribuirà:

[A] sulle due superfici interna ed esterna, proporzionalmente alla loro superficie
[B] uniformemente sulla superficie interna della cavità
[C] uniformemente nel volume del conduttore
[D] uniformemente sulla superficie esterna della sfera

(CISIA)

1. Verso l'università

Esercizi di fine unità

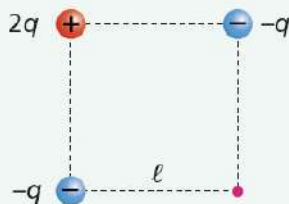
2. Risolvi

- 19 Una sferetta metallica di massa $121 \mu\text{g}$ e raggio $0,500 \text{ mm}$ è caricata positivamente. L'intensità del campo elettrico sulla sua superficie è $5,21 \times 10^4 \text{ N/C}$. Calcola la carica della sferetta. Si colloca la sferetta in una zona in cui c'è un campo elettrico uniforme, verticale, diretto verso l'alto. Qual è l'intensità di questo campo se la sferetta resta sospesa in aria, ferma?

[1,45 pC; $8,19 \times 10^5 \text{ N/C}$]

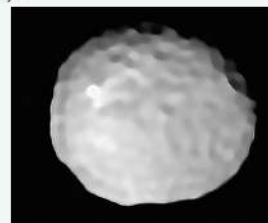
- 5 Tre cariche elettriche sono disposte ai vertici di un quadrato di lato ℓ come si vede in figura. Si supponga $q > 0$. Calcolare il vettore campo elettrico nel quarto vertice.

$$\left[\frac{q}{4\pi\epsilon_0\ell^2}(\sqrt{2}-1) \right]$$



(Olimpiadi della Fisica, 2° livello, 2008)

- 18 **ASTRONOMIA** Pallade è un asteroide di forma approssimativamente sferica, di diametro 530 km e massa $2,1 \times 10^{10} \text{ kg}$. Quale sarebbe il peso di una mela di 250 g se venisse trasportata sulla superficie di Pallade? Qual è l'intensità del campo gravitazionale a una profondità di 50 km ? (Supponi che la densità di Pallade sia uniforme).



ESO/Vernazza et al.

[50 mN; $0,16 \text{ m/s}^2$]

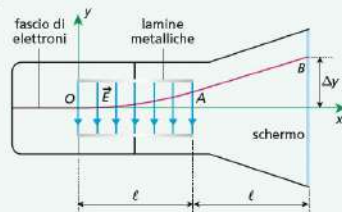
Esercizi di fine unità

VERSO L'ESAME

PROVA DI FISICA – L'esperimento di Thomson

PDF Esercizi SFIDA
Online

- 27 Per misurare il rapporto e/m tra la carica e la massa dell'elettrone alcuni studenti e studentesse utilizzano l'apparato sperimentale in figura. All'interno di un tubo in cui è fatto il vuoto, si trovano due lamine metalliche orizzontali uniformemente cariche con densità opposte. Puoi assumere che il campo elettrico $\vec{E}$ sia uniforme nella regione compresa tra le lamine e nullo all'esterno. Un fascio di elettroni entra nella regione tra le due lamine con una velocità iniziale $\vec{v}_0$ perpendicolare al campo elettrico, viene deflesso dalla forza elettrica, poi esce e colpisce uno schermo fluorescente, come mostra la figura.



- a Analizza il moto degli elettroni del fascio scomponendolo lungo gli assi x e y . Illustra le caratteristiche del moto spiegando perché la traiettoria è parabolica nella regione tra le due lamine mentre è rettilinea nel tratto AB tra le lamine e lo schermo. Puoi trascurare l'effetto della forza peso sugli elettroni perché la loro velocità è molto elevata.
- b Dimostra che esiste una relazione lineare tra il modulo del campo elettrico E e la deflessione Δy del fascio: $\Delta y = kE$. In particolare, mostra che la costante di proporzionalità è pari a:

$$k = \frac{3}{2} \frac{e}{m} \frac{\ell^2}{v_0^2}$$

dove m ed e indicano la massa e il valore assoluto della carica dell'elettrone, mentre ℓ indica la lunghezza delle lamine e la distanza tra le lamine e lo schermo.

- c Per misurare il rapporto e/m tra la carica e la massa dell'elettrone, gli studenti e le studentesse rilevano la deflessione in corrispondenza di alcuni valori del campo elettrico:

E (kN/C)	1,1	1,5	1,9	2,3	2,6
Δy (mm)	9	12	15	18	21

Verifica che tali dati sono compatibili con una relazione di proporzionalità diretta tra Δy ed E . Traccia il grafico e fornisci una stima del valore della costante di proporzionalità k .

- d Posto $v_0 = 1,5 \times 10^7$ m/s e $\ell = 8,2$ cm, determina il valore del rapporto e/m e confrontalo con il valore accettato:
 $\frac{e}{m} = 1,76 \times 10^{11}$ C/kg.

[c $k = (8,0 \pm 0,2$ mm C/kN; d $1,78 \times 10^{11}$ C/kg]

3. Verso l'esame

Esercizi di fine unità

- Prova di matematica e fisica

PROVA DI MATEMATICA E FISICA

28 Due cariche puntiformi identiche di valore q sono poste a distanza $2d$. Considera un sistema di assi cartesiani con origine nel punto medio del segmento congiungente le due cariche e direzione x coincidente con la medesima congiungente.

- a Utilizzando solo argomenti di simmetria, dimostra che il campo elettrico in un punto P di coordinate $(0; y)$ può essere diretto solo lungo l'asse y .
- b Mostra che l'espressione del campo elettrico nel punto P di coordinate $(0; y)$ è data da:

$$\vec{E} = (E_x; E_y) = \left(0; \frac{2k_0 q y}{(d^2 + y^2)^{3/2}} \right)$$

Poni $q = +1 \text{ nC}$ e $d = 2 \text{ cm}$.

- c Determina l'espressione approssimata del campo elettrico sull'asse y a grandi distanze delle cariche.
- d $\left(\frac{d}{dx}\right)$ Determina i punti sull'asse y in cui è massima l'intensità del campo elettrico.
- e $\left(\frac{d}{dx}\right)$ Dopo aver dimostrato che E_y è una funzione dispari di y , traccia il grafico più probabile di $E_y(y)$.



DEASCUOLA

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

Insegnare con... Sistema Fisica

*Dal laboratorio alle esplorazioni
con l'Intelligenza Artificiale*

Relatore:

Giuseppe Milanesi



Relatività, ne vale la pena?

- Una teoria che ha 120 anni
- Una teoria logica
- Una teoria fisica

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter,



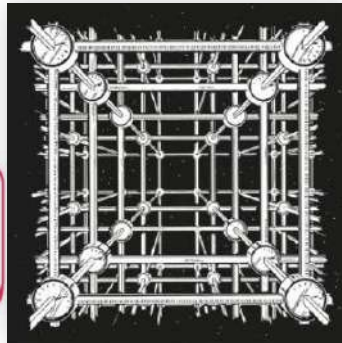
PRIMO POSTULATO DELLA RELATIVITÀ RISTRETTA: PRINCIPIO DI RELATIVITÀ

Le **leggi fisiche** sono le stesse in **tutti i sistemi di riferimento** in moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro.



SECONDO POSTULATO DELLA RELATIVITÀ RISTRETTA: INVARIANZA DELLA VELOCITÀ DELLA LUCE NEL VUOTO

La **velocità della luce nel vuoto** è la stessa in **tutti i sistemi di riferimento inerziali**.



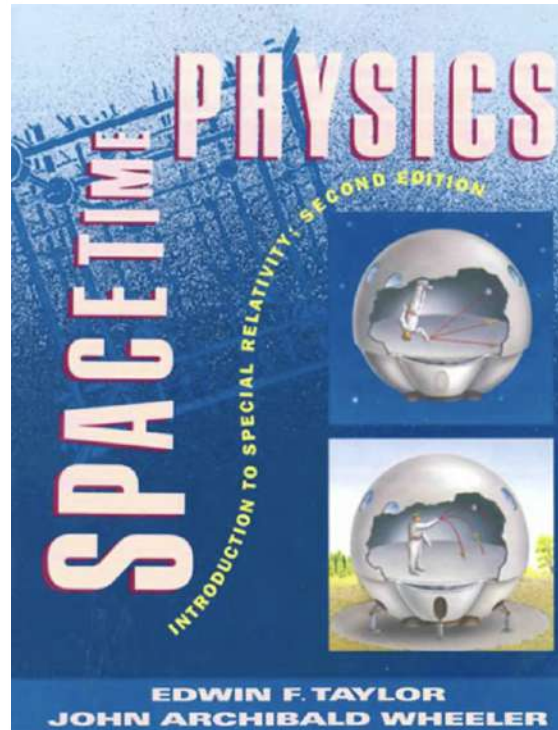
DEFINIZIONE: SISTEMA DI RIFERIMENTO

Un **sistema di riferimento** è un insieme di strumenti di misura (righelli, orologi, bilance, ecc.) necessario a compiere esperimenti. Tali strumenti sono tutti fermi uno rispetto all'altro.

Alcune ispirazioni



Elio Fabri, Quaderno 16, AIF



Taylor, Wheeler, Spacetime Physics
<https://www.eftaylor.com/spacetimephysics/>

Una teoria logica... una teoria fisica



DEFINIZIONE: SISTEMA DI RIFERIMENTO

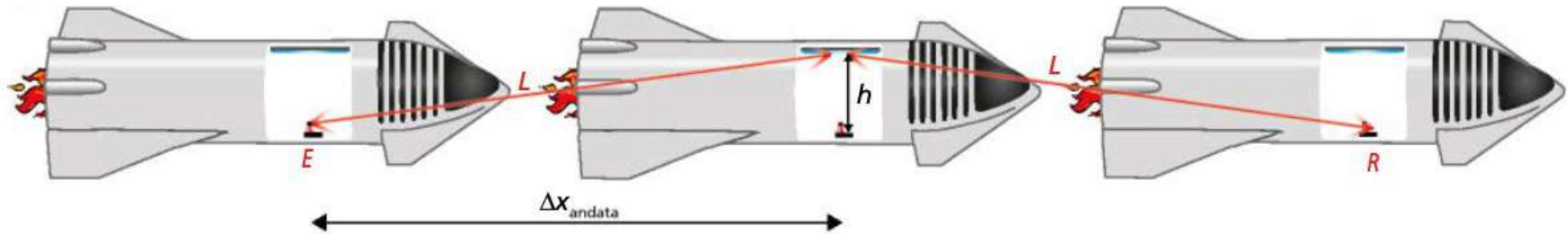
Un **sistema di riferimento** è un insieme di strumenti di misura (righelli, orologi, bilance, ecc.) necessario a compiere esperimenti. Tali strumenti sono tutti fermi uno rispetto all'altro.

Comprendi la definizione

- Possiamo immaginare che un riferimento sia ancorato a una struttura rigida. Si dice che il riferimento è solidale per 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 a 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.

Una teoria logica... una teoria fisica

L'orologio a luce e la dilatazione dei tempi



TEMPO PROPRIO

Il tempo proprio τ_{AB} tra due eventi A e B è l'intervallo di tempo tra i due eventi, misurato in un sistema di riferimento inerziale $\mathcal{R}_p$ in cui essi accadono nello **stesso punto**.

Una teoria logica... una teoria fisica



LEGGE DI DILATAZIONE DEI TEMPI

Se il riferimento $\mathcal{R}_p$ nel quale si misura il tempo proprio τ_{AB} tra due eventi A e B si muove con velocità v rispetto a un riferimento $\mathcal{R}$, l'intervallo di tempo tra A e B misurato nel riferimento $\mathcal{R}$ è

intervallo di tempo
misurato
in un generico
riferimento $\mathcal{R}$

$$\Delta t_{AB} = \frac{\tau_{AB}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

tempo proprio
eventi A e B
velocità di $\mathcal{R}_p$
rispetto a $\mathcal{R}$

Comprendi la legge

- La legge di dilatazione dei tempi in questa forma si applica **solo se entrambi i riferimenti sono inerziali** e si muovono di moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro.
- Il denominatore della (3) è sempre un numero minore o uguale a 1; dunque, l'**intervallo di tempo** (Δt_{AB}) tra due eventi misurato da un riferimento $\mathcal{R}$ in cui essi **non** accadono nello stesso punto è **maggiore del tempo proprio** (τ_{AB}). Per questo, talvolta, Δt_{AB} è detto "tempo dilatato".
- Per velocità molto minori della velocità della luce ($v \ll c$), v/c è molto vicino a zero e quindi $\Delta t_{AB} \approx \tau_{AB}$.

L'esempio dell'orologio a luce sul razzo evidenzia che la dilatazione dei tempi è una diretta conseguenza del secondo postulato della relatività. Infatti, Δt_{Terra} è maggiore del tempo proprio $\Delta t_{\text{razzo}} = \tau_{ER}$ perché la **traiettoria della luce**, osservata dal riferimento solidale alla **Terra**, è **più lunga** della traiettoria osservata nel riferimento del razzo; ma la **velocità della luce è la stessa** nei due riferimenti e quindi il **tempo impiegato** nel riferimento della Terra è **maggiore**.

Una teoria logica... una teoria fisica

Applica la legge

Marco guarda un film di due ore su un super aereo che viaggia a velocità $v = 0,900c$ rispetto alla Terra. Quanto dura il film di Marco, secondo gli orologi che si trovano sulla Terra?

Rispetto al riferimento dell'aereo, il film di Marco inizia (evento A) e finisce (evento B) nello stesso punto, sullo schermo di Marco. Per questo, la durata del film, misurata nel riferimento dell'aereo è il tempo proprio tra gli eventi A e B: $\tau_{AB} = 2,00$ h.

La durata del film di Marco, misurata dagli orologi che si trovano sulla Terra è:

$$\Delta t_{AB} = \frac{\tau_{AB}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2,00 \text{ h}}{\sqrt{1 - \frac{(0,900c)^2}{c^2}}} = 4,59 \text{ h} \approx 4 \text{ h } 35 \text{ min}$$

PROVA TU

Mentre Marco è in volo, sua sorella Sara va a fare colazione. Quando Sara entra nel bar il suo orologio segna le 7:35, quando esce le 8:42. Quanto dura la colazione nel riferimento del super aereo?

[16 min]

Una teoria logica... una teoria fisica... ...anche negli esercizi

44 Un muone viaggia alla velocità di $2,89 \times 10^8$ m/s. Calcola il suo fattore di Lorentz. [3,73]

45 Calcola la velocità di una particella il cui fattore di Lorentz vale 7,0. [0,99c]

46 Da un acceleratore di particelle viene emesso un elettrone, che viaggiando in linea retta a velocità costante raggiunge un rilevatore $1,68 \mu\text{s}$ dopo l'emissione, secondo le misure di un riferimento solidale a Terra. Nel riferimento dell'elettrone tra l'emissione e la ricezione nel rilevatore passano $0,280 \mu\text{s}$. Quanto vale la velocità dell'elettrone? [0,986c]

52 **MATEMATICA E FISICA** Un treno ad alta velocità passa una postazione di controllo alle 12:07 (evento A) e raggiunge quella successiva alle 12:10 (evento B) percorrendo un tratto rettilineo alla velocità costante di 270 km/h. Gli orari sono quelli indicati dai due orologi che si trovano nelle postazioni di controllo e che sono stati preventivamente sincronizzati. Quanto vale la differenza tra l'intervallo di tempo tra i due passaggi misurato dagli orologi di terra e quello misurato dall'orologio di uno sperimentatore seduto sul treno?

(Suggerimento: quando $\frac{v}{c} \ll 1$:

$$\left[1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right]^k \approx \left(1 - k \frac{v^2}{c^2}\right) \quad [5,6 \times 10^{-12} \text{ s}]$$

Una teoria logica... Una teoria fisica

La quantità di moto relativistica

Come abbiamo studiato nell'**Unità 4**, possiamo esprimere il secondo principio della dinamica in termini della quantità di moto $\vec{p} = m\vec{v}$:

$$\vec{F}_{\text{ris}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (1)$$

Per un sistema di corpi isolato, cioè che non interagisce con l'esterno, la combinazione di questa legge con il terzo principio determina la **conservazione della quantità di moto totale del sistema**, data semplicemente dalla somma delle quantità di moto dei corpi che lo compongono: $\vec{p}_{\text{tot, finale}} = \vec{p}_{\text{tot, iniziale}}$.

Tipici fenomeni in cui la quantità di moto totale si conserva sono gli **urti**, le esplosioni e i decadimenti.

Assunto che non poteva salvare il secondo e il terzo principio nella loro formulazione originale, Einstein propose una nuova definizione di **quantità di moto** $\vec{p}$ che verificasse tre requisiti:

1. l'espressione di $\vec{p}$ deve ricondursi a quella di Newton $m\vec{v}$ per velocità piccole rispetto a quella della luce nel vuoto;
2. deve valere il secondo principio nella formulazione (1);
3. negli urti, la quantità di moto totale è conservata in tutti i riferimenti.

Il terzo

Il terzo pr
B pari a I
corpo A.
se $\vec{F}_{AB}$ e $\vec{F}$
in un rife
due forze



il

pe

le

Approfor
della relat

Una teoria logica... fisica... geometrica

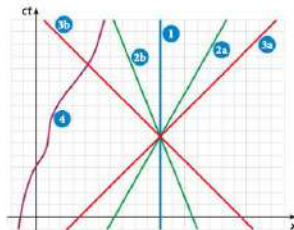
Le linee universo

- In un diagramma spaziotemporale, il grafico della legge oraria $x = x(t)$ di un corpo, formato dalle coppie di punti $(x(t); ct)$, prende il nome di **linea universo del corpo**.

La legge oraria di un corpo è la funzione che a ogni istante di tempo associa la posizione del corpo.

Rispetto ai grafici delle leggi orarie che hai incontrato finora, per la linea universo gli assi sono **scambiati**. Questa convenzione è vantaggiosa perché, scorrendo il tempo dal basso verso l'alto, le linee universo inclinate verso destra o verso sinistra rappresentano rispettivamente oggetti in moto verso destra e verso sinistra. Vediamo alcune caratteristiche delle linee universo.

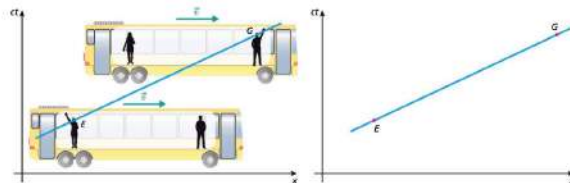
- La linea universo di un corpo **fermo** (in azzurro nella figura) è una **retta verticale**: il corpo occupa infatti la stessa posizione in ogni istante di tempo. 1
- Le linee universo di corpi o segnali in **moto a velocità costante** sono **rette** (in verde nella figura): il corpo può essere in moto a velocità costante verso destra 2a, oppure in moto a velocità costante verso sinistra 2b. Rette che hanno una maggiore pendenza corrispondono a velocità più basse, perché la stessa distanza viene percorsa in un tempo maggiore. Per qualsiasi corpo in moto a velocità v si ha $c \geq |v|$, quindi $\left| \frac{c\Delta t}{\Delta x} \right| = \left| \frac{c\Delta t}{v\Delta t} \right| \geq 1$:



- la linea universo di un corpo che si muove a velocità costante è una retta inclinata più di 45° rispetto all'asse x .

- Poiché un **segnale elettromagnetico** viaggia a velocità costante pari a c , la sua linea universo è una **retta** (in rosso nella figura). Per due punti qualsiasi di questa retta vale che $\Delta x = \pm c\Delta t$ (il segno più se il segnale viaggia verso destra 3a e il segno meno se il segnale viaggia verso sinistra 3b). La retta è parallela a una delle bisettrici dei quadranti perché il coefficiente angolare della retta è: $\frac{c\Delta t}{\Delta x} = \pm 1$.
- La linea universo di un corpo in **moto non uniforme** è una **linea curva**, in (viola). Tracciando la retta tangente alla curva in un punto si può dedurre la velocità istantanea. Anche questa non può mai essere superiore a c , perciò la **retta tangente** a una linea universo è sempre **inclinata più di 45°** rispetto all'asse x .

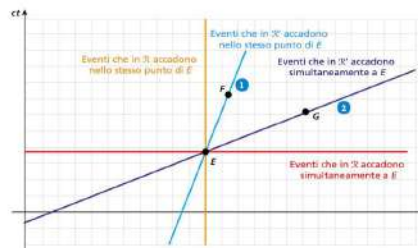
Nel diagramma di Minkowski del riferimento $\mathcal{R}$, l'evento G si trova quindi su una retta che passa per E , ha coefficiente angolare $\frac{v}{c}$ e quindi è **inclinata meno di 45°** rispetto all'asse x ; per ciò che abbiamo studiato nel paragrafo precedente, questa non è una linea universo.



222

Lezione 1 Lo spaziotempo

- Nel diagramma di Minkowski del riferimento $\mathcal{R}$, la **retta** che passa per E e ha **coefficiente angolare $\frac{v}{c}$** 1 rappresenta gli eventi che in $\mathcal{R}'$ accadono nello stesso punto di E , cioè quelli per cui $x' = x'_E$. La **retta** del diagramma di $\mathcal{R}$ che passa per E e ha **coefficiente angolare $\frac{v}{c}$** 2 rappresenta gli eventi che in $\mathcal{R}'$ accadono **simultaneamente a E** , cioè quelli per cui $t' = t'_E$. Tale retta è detta anche **retta di simultaneità di E** .



Una teoria logica... fisica... geometrica

Il segno dell'intervallo esprime quindi la relazione causale tra due eventi.

Due eventi sono **causalmente connessi** se e solo se il loro intervallo spaziotemporale è **positivo o nullo**:

$$c^2\Delta t^2 - \Delta x^2 \geq 0 \Leftrightarrow \text{Eventi causalmente connessi}$$

$$c^2\Delta t^2 - \Delta x^2 < 0 \Leftrightarrow \text{Eventi causalmente disconnessi}$$

L'invarianza dell'intervallo è coerente con il fatto che la relazione causale non può dipendere dal riferimento: se due eventi sono causalmente connessi ($I^2 \geq 0$) o disconnessi ($I^2 < 0$) in un riferimento, allora lo sono per tutti i riferimenti.

Applica la legge

Nell'attività di inizio lezione, l'intervallo tra la potente emissione di onde dall'antenna (evento E) e l'anomalia registrata dal satellite (evento A) è positivo e quindi è possibile (ma non è detto) che l'anomalia del satellite sia stata causata dall'emissione:

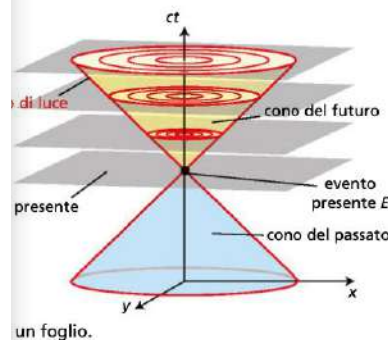
$$I_{EA}^2 = c^2\Delta t_{EA}^2 - \Delta x_{EA}^2 = (3 \times 10^5 \text{ km/s})^2 (0,5 \text{ s})^2 - (3,7 \times 10^4 \text{ km})^2 = 2 \times 10^{10} \text{ km}^2$$

L'intervallo tra E e le anomalie registrate sulla sonda GAIA (evento S), è invece negativo e quindi gli eventi sono causalmente disconnessi e quanto rilevato dalla sonda non può essere una conseguenza dell'emissione dell'antenna:

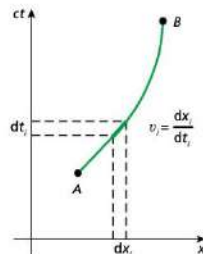
$$I_{ES}^2 = c^2\Delta t_{ES}^2 - \Delta x_{ES}^2 = (3 \times 10^5 \text{ km/s})^2 (0,5 \text{ s})^2 - (1,5 \times 10^6 \text{ km})^2 = -2 \times 10^{12} \text{ km}^2$$

PROVA TU Se l'anomalia sul satellite fosse avvenuta 0,1 s dopo l'emissione, i due eventi sarebbero causalmente connessi?

[si]



Una teoria logica... fisica... geometrica



Linea universo qualsiasi

Vogliamo ora calcolare l'intervallo di tempo complessivo ΔT_{AB} misurato dall'orologio da polso di Marco tra gli eventi A e B. La linea universo di questo orologio non è retta ma, se consideriamo tanti intervalli di tempo $dt_1, dt_2, \dots, dt_N$ molto brevi, la porzione di linea universo corrispondente sarà indistinguibile da un segmento. Nel tempo dt_i (dove i è un qualsiasi numero tra 1 e N) l'orologio si sposta di una quantità

dx_i , con una velocità $v_i = \frac{dx_i}{dt_i}$ che possiamo considerare costante. Lungo ogni piccolissimo segmento possiamo applicare la (2) e l'orologio da polso avanza quindi di una piccola quantità:

$$dT_i = dt_i \sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}$$

La somma di tutti questi intervalli di tempo ci fornisce il tempo complessivo ΔT_{AB} .

MATE & FISICA

Una volta nota la funzione $v(t)$, la definizione di ΔT_{AB} è coincidente con quella dell'integrale:

$$\Delta T_{AB} = \int_{t_A}^{t_B} \sqrt{1 - \frac{v(t)^2}{c^2}} dt \quad (4)$$

INTERVALLO DI TEMPO LUNGO UNA LINEA UNIVERSO QUALSIASI

Se un orologio è in moto con **velocità qualsiasi** rispetto a un riferimento inerziale, l'intervallo di tempo ΔT_{AB} che esso misura tra due eventi A e B della sua linea universo è:

$$\Delta T_{AB} = \sum_{i=1}^N dT_i = \sum_{i=1}^N dt_i \sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}} \quad (3)$$

tempo misurato dall'orologio tra gli eventi A e B della sua linea universo

piccoli intervalli di tempo in cui è suddiviso il moto

velocità dell'orologio nell'intervallo di tempo dt_i

Per calcolare l'intervallo di tempo misurato dall'orologio al polso di Marco, dovremmo conoscere la sua velocità (rispetto a un riferimento inerziale qualsiasi) durante il suo spostamento all'interno del treno e calcolare la somma (3) o l'integrale (4).

Comprendi la definizione

- La definizione si applica **solo all'intervallo di tempo** tra due eventi che **appartengono alla linea universo** dell'orologio.
- L'espressione per ΔT_{AB} coinvolge il modulo della velocità ed è valida anche se il moto dell'orologio non è rettilineo, ma si sviluppa in tre dimensioni.
- Per $\frac{v_i^2}{c^2} \ll 1$, si ha $\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}} \approx 1$ e quindi $\Delta T_{AB} \approx \Delta t_{AB}$.
- Se la **velocità** $\vec{v}(t)$ rispetto a un riferimento inerziale è **costante**, la (3) coincide con la relazione (2) che esprime il **tempo proprio** τ_{AB} .
- Se consideriamo il riferimento proprio degli eventi A e B, si ha $t_{AB} = \tau_{AB}$. Per l'orologio di una linea universo curva che passa per A e B, abbiamo $T_{AB} = \sum dt_i \sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}} < \sum dt_i = t_{AB}$. Ciò mostra che:

il tempo misurato da un orologio di un riferimento non inerziale è sempre minore del tempo proprio tra due eventi.

Una teoria logica... fisica... geometrica

Il paradosso dei gemelli

Veniamo ora a uno dei più discussi aspetti della relatività, il paradosso dei gemelli.

I due gemelli Andrea e Luca fanno parte di un programma di esplorazione spaziale:

1. quando entrambi hanno 25 anni, Luca si imbarca su un'astronave;
2. secondo gli strumenti di Terra, l'astronave si allontana alla velocità di $0,850c$ per 20 anni, poi inverte rapidamente la marcia e, sempre viaggiando a $0,850c$, fa ritorno dopo altri 20 anni;
3. al termine della missione, Andrea è invecchiato di 40 anni, ed è quindi un uomo di 65 anni.



Sia Andrea sia Luca misurano il tempo tra la partenza e il ritorno con i propri orologi (compreso il loro “orologio biologico”), ma le due misure non coincidono e quando Luca torna sulla Terra ha solo 46 anni!

Questa situazione è nota come **paradosso dei gemelli** perché, a prima vista, appare contraddittoria. Si potrebbero infatti ritenere equivalenti le descrizioni dei due gemelli: ciascuno vede l'altro prima allontanarsi e poi avvicinarsi e ciascuno potrebbe concludere che l'altro è più giovane al termine del viaggio. Tuttavia, la **situazione non è simmetrica**: il riferimento di Andrea (solidale alla Terra) è inerziale, il riferimento di Luca (solidale all'astronave) non lo è e quindi, come prevede la legge del massimo tempo, il tempo misurato dall'orologio di Luca è minore del tempo (proprio) misurato da Andrea.

Poiché Andrea è rimasto sostanzialmente fermo sulla Terra perché si è sempre spostato a velocità molto minori di c , nel diagramma di Minkowski del riferimento inerziale della Terra la sua **linea universo** tra la partenza (evento P) e il ritorno (evento R) di Luca è una retta verticale, di colore azzurro in figura.

La **linea universo** di Luca invece è una **spezzata** (di colore verde in figura). Il riferimento della sua astronave non è certamente inerziale, perché ha subito tre fasi di accelerazione: in partenza, al momento dell'inversione della rotta e all'arrivo.

Poiché le fasi di accelerazione sono molto brevi rispetto alla durata del viaggio, possiamo trascurarle nel calcolo del tempo tra la partenza e il ritorno di Luca lungo la sua linea universo e ottenere:

$$\Delta T_{PR} = \Delta t_{andata} \sqrt{1 - \frac{v_{andata}^2}{c^2}} + \Delta t_{ritorno} \sqrt{1 - \frac{v_{ritorno}^2}{c^2}} = 2 \cdot 20 \text{ a} \sqrt{1 - (0,850)^2} = 21 \text{ a}$$

Esercizi vari e numerosi

16



La fusione di un nucleo di deuterio e uno di trizio produce un nucleo di elio e un neutrone libero. La somma delle masse dei prodotti della reazione è di $17,6 \text{ MeV}/c^2$ inferiore a quella dei reagenti.

Quanti atomi di deuterio e quanti di trizio sono in $5,00 \text{ g}$ di idrogeno composti da $2,00 \text{ g}$ di ^2H e $3,00 \text{ g}$ di trizio? Quanta energia si libera fondendo $5,00 \text{ g}$ di idrogeno? E fondendone 1 kg ? Confronta questo valore con l'energia prodotta dalla combustione di 1 kg di combustibile fossile, pari a circa 45 MJ .

$$[6,02 \times 10^{23}; 1,06 \times 10^{31} \text{ eV} = 1,70 \times 10^{12} \text{ J}]$$

20



L'ESPERIMENTO DI BERTOZZI Un fascio di elettroni accelerato attraverso diverse differenze di potenziale, dopo il termine della fase di accelerazione, percorre un tratto AB di lunghezza $8,40 \text{ m}$. In tabella sono riportati i valori della differenza di potenziale e i corrispondenti tempi di percorrenza del tratto AB da parte di un elettrone:

$\Delta V \text{ (MV)}$	0,50	1,0	1,5	4,5
$\Delta t \text{ (ns)}$	32,2	30,3	29,2	28,3
v/c				

a Calcola il rapporto tra la velocità misurata e la velocità della luce e completa la tabella.

b Per ciascun valore di ΔV , calcola il valore di v/c che si ottiene applicando le leggi di Newton e quello che

PENSA CON LA FISICA

92

TROVA L'ERRORE

Se la velocità della luce nel vuoto fosse molto inferiore non osserveremmo la relatività della simultaneità né tutti gli altri effetti relativistici.

93

ESPLORA

Esistono in rete molti applicativi e giochi che permettono di visualizzare gli effetti relativistici. Sperimentane alcuni facendo una ricerca con parole chiave come “relativity simulator” o “relativity game”.

Esercizi di fine Unità vari e numerosi

- 1 Sulla Terra è stata appena intercettata la seguente comunicazione aliena: "Siamo nei pressi di Nettuno, ..."

VERSO L'ESAME

PDF Esercizi SFIDA
Online

PROVA DI MATEMATICA E FISICA — Forza costante su una particella

- 21 $\int dx$ Una particella di massa m è ferma nell'origine di un sistema di assi cartesiani. A partire dall'istante $t = 0$ agisce una forza costante $\vec{F}$ parallela all'asse x .

- a La forza risultante, che coincide con $\vec{F}$, è costante. Dunque, per la legge $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, il grafico del modulo della

quantità di moto in funzione del tempo è una retta con pendenza F e passante per l'origine perché la particella inizialmente è ferma: $p(t) = Ft$. A partire da questa relazione dimostra che la velocità al tempo t è data da:

$$v(t) = c \frac{At}{\sqrt{1 + A^2 t^2}} \text{ dove } c \text{ è la velocità della luce e } A = \frac{F}{mc}.$$

- b Verifica che nella primissima fase del moto, ossia per t sufficientemente piccolo, si ritrova il risultato classico.
- c Determina la legge oraria del moto.
- d Calcola la distanza percorsa al tempo $t_1 = 100$ ns da un elettrone accelerato da un campo elettrico di $15,0$ kV/m e la differenza di potenziale che ha attraversato. Applica la legge di conservazione dell'energia e calcola la velocità dell'elettrone al tempo t_1 . Verifica che con l'espressione al punto a avresti ottenuto lo stesso risultato.

$$\left[c \ x(t) = \frac{c}{A} (\sqrt{1 + A^2 t^2} - 1) \text{ con } A = \frac{F}{mc}; \text{ d } 11,3 \text{ m}; 170 \text{ keV} \right]$$

to del Falcon, quanto impiega l'Eagle a completare la gara?

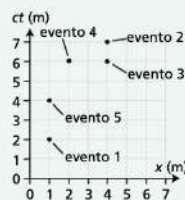
[Falcon; 0,35 min; 3,54 min]

stesso luogo di B rispetto a $\mathcal{R}'$ e le due rette rappresentano gli eventi simultanei per A e simultanei per $\mathcal{R}'$. Quale dei due eventi avviene secondo gli strumenti di $\mathcal{R}$? [B]

CA E FISICA Considera l'evento E di coordinate $(x; 2 \text{ m})$. Nel piano $(x; ct)$, scrivi il fascio di eventi per E . Per quali valori del coefficiente angolare una retta del fascio rappresenta una linea di un corpo in moto a velocità costante? rappresenta fisicamente il valore di tale coefficiente?

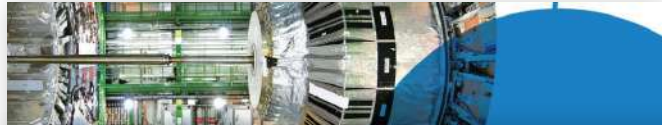
CA E FISICA Nel diagramma di Minkowski (figura 1), considera un evento E e le rette $ct' = ct'_E$ che rappresentano gli eventi che, in altro riferimento $\mathcal{R}'$, accadono rispettivamente allo stesso punto e allo stesso istante di E . Di queste rette inclinate a 45° che passano per E le settrici degli angoli formati dalle due rette $ct' = ct'_E$.

La figura di Minerva, quali sono le coordinate dello stesso punto che passa per l'evento 4? Per ciascuno calcola la velocità della particella considerata.



Le rette inclinate a 45° che passano per l'evento 4 rappresentano gli eventi che avvengono nello stesso luogo di riferimento $\mathcal{R}'$.

Il percorso didattico



Le lezioni di questa Unità

- 1 La relatività delle misure
- 2 I postulati della relatività ristretta
- 3 La sincronizzazione degli orologi
- 4 La dilatazione dei tempi
- 5 La contrazione delle lunghezze



- 6 La relatività della simultaneità
- 7 Le trasformazioni di Lorentz
- 8 Le leggi della dinamica e la quantità di moto
- 9 L'energia relativistica

Le lezioni di questa Unità

- 1 Lo spaziotempo
- 2 L'intervallo spaziotemporale e la struttura causale dello spaziotempo

- 3 Gli orologi in moto qualunque e il paradosso dei gemelli
- 4 Il principio di equivalenza
- 5 La curvatura dello spaziotempo



DEASCUOLA

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

Insegnare con... Sistema Fisica

*Dal laboratorio alle esplorazioni
con l'Intelligenza Artificiale*

Relatrice:
Giovanna Malegori



Risorse aggiuntive

Risorse aggiuntive per diversi stili cognitivi:

Videolezioni

sulla relatività



DEAFLIX:

Playlist e test di autovalutazione



24 La corrente elettrica continua

Esercizi Sfida:

studenti più motivati

Percorsi

di ripasso e recupero



Ripasso, recupero, potenziamento

1500 esercizi su tutti gli argomenti

Esercizi sfida: studenti più motivati

Percorsi di ripasso e recupero

- Completa la sintesi
- Rispondi
- Esercizi, esercizi guidati e con suggerimento

Carattere ad alta leggibilità



**Percorso
di ripasso
e recupero**

Ripasso, recupero, potenziamento

Unità 15

Il campo elettrico

Percorso
di ripasso
e recupero

PERCORSO DI RIPASSO E RECUPERO

COMPLETA LA SINTESI INSERENDO LE PAROLE INDICATE
(potresti dover utilizzare alcune parole più volte)

- 3 *tangente – cariche positive – cariche negative – intersecarsi – linee orientate – verso concorde – più intenso – campo elettrico*

Per rappresentare graficamente un si utilizzano delle, dette linee di campo. Esse hanno le seguenti proprietà:

- a in ogni punto dello spazio il vettore campo è alla linea di campo passante in quel punto
- b hanno con quello del
- c hanno origine da e terminano su
- d sono più fitte dove il è
- e due linee di campo non possono mai

Imparare **facendo**

Ripasso, recupero, potenziamento

Percorso
di ripasso
e recupero

ESERCIZIO GUIDATO Due cariche puntiformi $Q_1 = 24 \text{ nC}$ e $Q_2 = 15 \text{ nC}$ sono poste a una distanza di 40 cm. Determina in quale punto, lungo la retta congiungente le due cariche il campo elettrico si annulla. [internamente al segmento Q_1Q_2 , a 0,22 m da Q_1]

FORMULE UTILI $E = k_0 \frac{|Q|}{r^2}$ $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$

PROCEDIMENTO

- a Rappresenta la situazione.
- b Disegna i campi generati dalle due cariche sulla retta passante per le due cariche in un generico punto P interno al segmento, in due punti esterni al segmento rispettivamente oltre la prima carica e oltre la seconda.
- c Considera il verso del campo generato da ciascuna carica e individua in quale zona il campo risultante può annullarsi.
- d Indica con x la distanza di P da una delle due cariche ed esprimi in funzione di x la distanza di P dall'altra carica.
- e Imponi che in P i moduli dei due campi siano uguali.

Imparare **facendo**

25 Una carica $Q = +1,2 \times 10^{-13} \text{ C}$ è tenuta ferma. Una particella α ($q = +3,20 \times 10^{-19} \text{ C}$, $m = 6,65 \times 10^{-27} \text{ kg}$) è a 4,3 m da Q e ha una velocità di 92 m/s diretta verso Q . Qual è la minima distanza da Q raggiunta dalla particella α ? **Suggerimento:** nella posizione di minima distanza la particella α ha velocità nulla. [3,2 m]

Onde meccaniche e suono

Puoi studiare ed esercitarti sugli argomenti di questa unità anche con la playlist **Onde meccaniche e suono** disponibile su DEAFLIX: guarda i video con le spiegazioni e gli esercizi e mettili alla prova con i test autocorrettivi.

Visione d'insieme

☐ 1 **INTRODUZIONE** La matematica del suono

Onde sonore

- ☐ 1 **LEZIONE** Impulsi e onde meccaniche
- ☐ 2 **ESERCIZIO SVOLTO** La corda del contrabbasso
- ☐ 3 **LEZIONE** Onde periodiche
- ☐ 4 **LEZIONE** Onde armoniche
- ☐ 5 **ESERCIZIO SVOLTO** La propagazione dell'onda
- ☐ 6 **LEZIONE** Onde stazionarie
- ☐ 7 **ESERCIZIO SVOLTO** La vibrazione della corda
- ☐ 8 **ESERCIZIO** Mettiti alla prova

Onde a due dimensioni

- ☐ 9 **LEZIONE** Onde a due dimensioni: riflessione e rifrazione
- ☐ 10 **ESERCIZIO SVOLTO** L'onda nella vasca d'acqua
- ☐ 11 **ESERCIZIO SVOLTO** Le due sorgenti
- ☐ 12 **LEZIONE** Le onde sonore
- ☐ 13 **ESERCIZIO SVOLTO** La moneta nel pozzo
- ☐ 14 **LEZIONE** Intensità e timbro del suono
- ☐ 15 **LEZIONE** L'effetto Doppler
- ☐ 16 **ESERCIZIO SVOLTO** Il fischio del treno
- ☐ 17 **ESERCIZIO** Mettiti alla prova

Sperimenta

- ☐ 18 **VIDEOESPERIMENTO** Visualizzare le onde
- ☐ 19 **VIDEOESPERIMENTO** La pentola cinese

Un'idea in più

- ☐ 20 **APPROFONDIMENTO** Le tecniche di doppiaggio

Test di verifica

- ☐ 21 **TEST DI AUTOVALUTAZIONE**



- Videolezioni
- Esercizi svolti
- Video esperimenti
- Test autocorrettivi

Per tutte le unità

450 video

- **Supporto** multimediale alla lezione
- **Ripasso** autonomo dopo la lezione
- **Recupero** per gli studenti in difficoltà o assenti
- **Flipped Classroom**

IL PERCORSO DELLE PLAYLIST DEAFLIX

Meccanica



Termodinamica



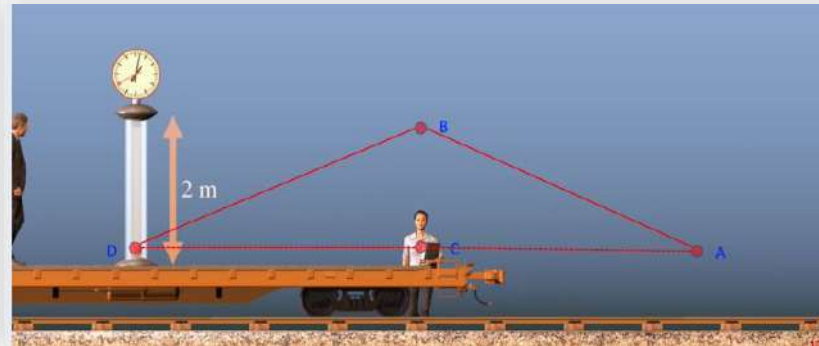
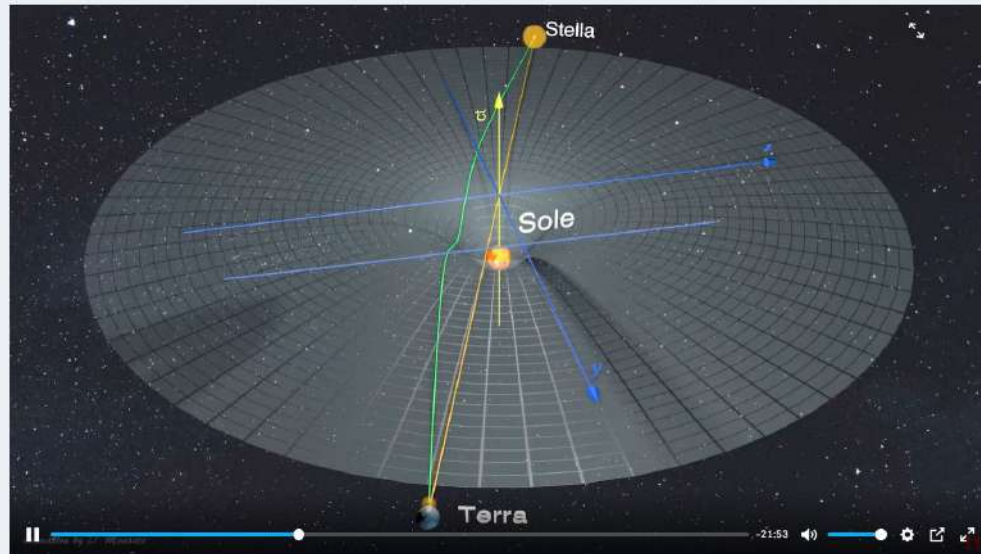
secondaria-di-secondo-grado/fisica-es2/g



Videolezioni sulla relatività

A cura del prof. Dario Menasce

- Lezioni con **animazioni**
- Relatività **ristretta**
- Relatività **generale**



L'educazione civica - DigComp 2.2

Linee guida per l'insegnamento dell'Educazione civica:

- **Costituzione**,
- **Sviluppo** economico e sostenibilità,
- **Cittadinanza digitale**,
- Ricerca e valutare **criticamente** informazioni e contenuti digitali,
- Sviluppare contenuti digitali usando in modo **creativo** le tecnologie digitali,
- Esercitare la **cittadinanza** attraverso le tecnologie digitali
- Sviluppare il lavoro di squadra attraverso l'**apprendimento collaborativo**,
- Stimolare la capacità di risolvere problemi (**problem-solving**).



**Quadro delle
Competenze Digitali per i
Cittadini - DigComp2.2**

Imparare con l'Intelligenza Artificiale

Attività per lo studente

Confrontarsi con le nuove tecnologie emergenti: **L'Intelligenza Artificiale**

- **non** è uno strumento da cui **copiare**
- È un assistente con cui interloquire e **confrontarsi** per produrre e per migliorarsi



Pensa con la fisica

Riflettere e rispondere: chatbot vs studente

PENSA CON LA FISICA

40



SPIEGA

Descrivi come si può calcolare il rapporto tra le masse delle molecole di due sostanze diverse applicando la legge di Avogadro. Confronta poi la tua risposta con quella fornita dall'AI.

La **legge di Avogadro** afferma che volumi uguali di gas diversi, misurati nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di molecole.

Per calcolare il **rapporto tra le masse delle molecole** di due sostanze diverse, seguiamo questi passaggi:

1. Definiamo le masse molecolari

- Sia M_1 la massa molare della prima sostanza (g/mol).
- Sia M_2 la massa molare della seconda sostanza (g/mol).

2. Utilizziamo la relazione con il numero di Avogadro

- La massa di una singola molecola si ottiene dividendo la massa molare per il numero di Avogadro N_A :

$$m_1 = \frac{M_1}{N_A}, \quad m_2 = \frac{M_2}{N_A}$$

Risposta dell'IA molto **accurata** e **dettagliata**:

- studente stimolato **a migliorarsi**

3. Calcoliamo il rapporto tra le masse delle molecole

- Dividendo le due espressioni, otteniamo:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

- Questo significa che il rapporto tra le masse delle molecole è uguale al rapporto tra le loro masse molari.



Pensa con la fisica

Il chatbot può **sbagliare** o usare un **linguaggio inadeguato**:

- sviluppo del senso critico

63



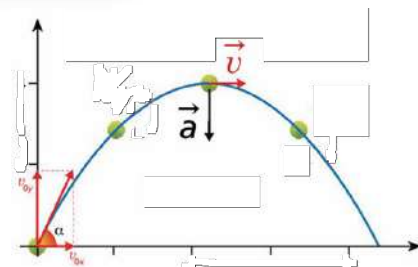
RIFLETTI

Nel punto più alto della traiettoria di un corpo lanciato obliquamente verso l'alto com'è diretta la sua velocità? E l'accelerazione? L'accelerazione è solo tangenziale, solo centripeta o sia tangenziale sia centripeta? Chiedi al chatbot di rispondere. È più chiara e precisa la sua risposta o la tua?



- **Accelerazione centripeta:** Se il moto fosse circolare, ci sarebbe un'accelerazione centripeta perpendicolare alla velocità. Tuttavia, la traiettoria è parabolica e non circolare, quindi non c'è un'accelerazione centripeta definita in senso classico.

Conclusione: L'accelerazione nel punto più alto è **solo tangenziale** (verso il basso), poiché la velocità ha solo una componente orizzontale e l'accelerazione è interamente verticale.



L'accelerazione è solo centripeta!

Collaborare e risolvere problemi



ESPLORA CON L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

I terremoti

Fase 1 Introduzione teorica

Perché la terra trema?

In passato l'origine dei **terremoti** era attribuita a esplosioni sotterranee legate all'attività dei vulcani. Oggi sappiamo che i terremoti si verificano anche in regioni non vulcaniche e, grazie ai progressi compiuti nella conoscenza della struttura e della dinamica della crosta terrestre, abbiamo compreso che la maggior parte dei terremoti è provocata dal **rilascio di energia** prodotta da una improvvisa frattura di rocce, a profondità comprese fra qualche kilometro e qualche decina di kilometri sotto la superficie terrestre. La deformazione delle rocce che poi porta agli eventi sismici è causata dai lentissimi movimenti (con velocità di pochi centimetri all'anno) dei grandi blocchi che costituiscono la crosta terrestre, i quali immagazzinano enormi quantità di energia potenziale. Quando la deformazione delle rocce supera il limite di rottura, l'energia accumulata viene liberata anche sotto forma di onde sismiche. L'intensità dei terremoti viene misurata dai sismometri, utilizzando due scale differenti: la **scala Richter**, che fornisce una caratterizzazione oggettiva dell'evento sismico, descrivendo l'energia liberata dallo stesso (la cosiddetta magnitudo) e la



Le tipologie di onde sismiche

Le **onde sismiche** sono un particolare tipo di onde meccaniche elastiche, che hanno origine in un punto della crosta terrestre detto **ipocentro**. Queste onde si propagano anche a grandi distanze, manifestandosi come oscillazioni della superficie terrestre, a volte di ampiezza tale da produrre effetti rovinosi, che possono arrivare addirittura all'increspatura evidente del suolo. Le onde generate dal terremoto si dividono in tre tipologie che sono, in ordine decrescente di velocità di propagazione: le **onde primarie** (P), di tipo longitudinale, le **onde secondarie** (S), di tipo trasversale, e le **onde superficiali**, che provengono dall'**epicentro** del terremoto, cioè il punto della superficie terrestre che si trova sulla verticale dell'ipocentro e si propagano lungo la superficie. Le onde P e le onde S, invece, sono esempi di onde di volume, in quanto si propagano all'interno dei corpi; in particolare, la propagazione delle onde P può avvenire sia nei solidi sia nei liquidi, mentre quella delle onde S avviene solo nei solidi. Per la loro minore attenuazione con la distanza, le onde superficiali sono

L'importanza dello studio dei terremoti

e, in particolare, degli effetti della loro riflessione e rifrazione all'interno della Terra, si ottengono informazioni sulla natura degli **strati** che compongono l'interno del pianeta. Per esempio, tramite studi sismologici si è potuto stabilire la presenza a grande profondità (circa 3000 km) di uno strato liquido, osservando che il verificarsi di terremoti in determinate regioni provocava, al capo opposto del pianeta, la ricezione di onde P ma non di onde S, proprio quelle che non possono propagarsi attraverso un liquido. Onde sismiche artificiali, prodotte con cariche di esplosivo, sono utilizzate per eseguire **sondaggi del sottosuolo**: esaminando le "risposte" a queste eccitazioni, si ottengono informazioni sulla natura delle rocce e si può individuare la presenza di giacimenti di minerali utili, oppure di gas naturale e di petrolio. In Italia il compito di studiare i terremoti è affidato all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://www.ingv.it/>).

1) Introduzione teorica

Collaborare e risolvere problemi

- 2) **Verifica delle competenze:** rispondi alle domande
- 3) **Interazione con il chatbot**
- 4) **Confronto con il chatbot:** scheda confronto

SCHEDA DI CONFRONTO CON IL CHATBOT

Fase 2 Verifica delle competenze Autonomamente o in gruppo con alcune compagne e compagni, rispondi ad almeno tre domande a tua scelta.

1. Che cosa causa i terremoti?
2. Quali sono le principali differenze tra le onde sismiche P e S? Perché le onde S non possono propagarsi attraverso i liquidi?
3. Che cos'è l'epicentro di un terremoto e come si distingue dall'ipocentro?
4. Quali sono le caratteristiche della scala Mercalli e come differisce dalla scala Richter?
5. Come si può educare la popolazione sul comportamento da tenere durante un terremoto?
6. Qual è il ruolo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia in Italia? Qual è l'importanza della sismologia nella prevenzione e gestione dei disastri naturali?
7. Quali sono le conseguenze sociali ed economiche dei grandi terremoti?
8. In che modo le onde sismiche contribuiscono alla ricerca scientifica sul nucleo terrestre?
9. Descrivi un esempio di evento sismico significativo dal punto di vista storico e il suo impatto.

Fase 3 Interazione con il chatbot Autonomamente o in gruppo con alcune compagne e compagni, interagisci con il chatbot chiedendo di rispondere alle domande scelte e conserva le risposte.

Fase 4 Confronto con il chatbot Lavorando in autonomia, rifletti sulle differenze tra le tue risposte e quelle del chatbot, compilando per ciascuna risposta la scheda alla pagina seguente. Ripeti l'esercitazione con uno o più chatbot diversi. A quale assegneresti il voto più alto per le risposte date?

1. Ritieni che la tua risposta sia migliore di quella del chatbot? ☐ SI ☐ No
Motivazione:

2. In che misura, in percentuale, ritieni che la tua risposta aderisca alla domanda? %
Motivazione:

3. La tua risposta include tutti i dettagli richiesti dalla domanda? ☐ SI ☐ No
Se no, quali dettagli mancano?

4. Ritieni che la tua risposta sia chiara e precisa? ☐ SI ☐ No
Motivazione:

5. La tua risposta presenta elementi di originalità rispetto a quella del chatbot? ☐ SI ☐ No
Se sì, quali?

6. Hai utilizzato altre risorse o conoscenze per formulare la tua risposta? ☐ SI ☐ No
Se sì, quali?

7. **Punti di forza e debolezza**
Quali sono i punti di forza della tua risposta rispetto a quella del chatbot?
Quali sono i punti di debolezza della tua risposta rispetto a quella del chatbot?

Collaborare e risolvere problemi

5) Attività collaborativa di **problem solving**

Educazione alla cittadinanza attiva

Ricerca e valutazione di informazioni

Creare contenuti digitali

Orientamento

Fase 5 Problem solving

Richiesta al chatbot

Immagina di essere un ingegnere sismico incaricato di migliorare la sicurezza della Valle di Rocciarossa. Quali strategie proporresti per rinforzare gli edifici esistenti e costruire nuove strutture sicure? Considera anche l'educazione della popolazione e l'implementazione di un sistema di monitoraggio sismico avanzato.

- Rinforzo degli edifici esistenti:

- Nuove costruzioni:

- Monitoraggio sismico:

- Educazione e preparazione:

- Coinvolgimento della comunità

Scenario immaginario:

- Valle di **Roccaraso**
- **Regioni** soggette a frequenti **attività sismiche** con elevata antropizzazione
- **Sviluppare un programma** per migliorare la sicurezza sismica e l'educazione della popolazione

Fare Didattica con l'Intelligenza Artificiale

Proposte per il docente

Nella Guida per il Docente:

INTELLIGENZA ARTIFICIALE

1. Introduzione all'Intelligenza Artificiale
2. Storia e sviluppi dell'Intelligenza Artificiale
3. Applicazioni dell'Intelligenza Artificiale
4. Alcuni rischi, molte opportunità
5. Il ruolo della scuola
6. Nuove competenze per docenti e studenti
7. L'Intelligenza Artificiale: in pratica

PROPOSTE DI ATTIVITÀ CON L'IA PER IL DOCENTE

1. Costruzione di verifiche disciplinari
2. Correzione di verifiche disciplinari
3. Preparazione di compiti di realtà ed esercizi con connessioni interdisciplinari e di Educazione civica
4. Preparazione di attività multidisciplinari
5. Creazione di verifiche disciplinari personalizzate

Costruzione di verifiche disciplinari

1. Costruzione di verifiche disciplinari

■ Scrittura di esercizi che replicano un esempio dato

1 Individua l'affermazione corretta.

- ☐ A Il vettore posizione non dipende dalla scelta dell'origine
- ☐ B Il vettore posizione è la differenza tra la posizione iniziale e quella finale
- ☐ C Il vettore spostamento va dall'origine al punto in cui è il corpo
- ☐ D Il vettore spostamento non dipende dalla scelta dell'origine

2 La velocità media:

- ☐ A è il rapporto tra la distanza percorsa e l'intervallo di tempo
- ☐ B è una grandezza scalare
- ☐ C dipende dalle posizioni iniziale e finale
- ☐ D è perpendicolare allo spostamento

3 La velocità istantanea:

- ☐ A è una grandezza vettoriale

- ☐ B è il rapporto tra la posizione e un intervallo di tempo molto breve
- ☐ C è normale alla traiettoria nel punto occupato dal corpo
- ☐ D è uguale allo spostamento in un intervallo molto breve

Vero o falso?

4 Lo spostamento:

- a può essere nullo
- b fornisce informazioni sulla traiettoria
- c nella definizione, $\Delta \vec{s} = \vec{s}_2 - \vec{s}_1$, $\vec{s}_1$ indica la posizione più vicina all'origine

- | | |
|---|---|
| V | F |
| V | F |
| V | F |

5 Spostamento e velocità media hanno:

- a lo stesso modulo
- b la stessa direzione
- c lo stesso verso
- d la stessa unità di misura

- | | |
|---|---|
| V | F |
| V | F |
| V | F |
| V | F |

1. Individua l'affermazione corretta.

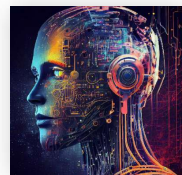
- A. Il vettore velocità media è uguale in tutti i punti della traiettoria.
- B. Il vettore velocità istantanea cambia direzione lungo una traiettoria curva.
- C. Il vettore spostamento ha la stessa direzione della velocità media.
- D. Il modulo della velocità media è sempre maggiore di quello dello spostamento.

2. Lo spostamento:

- A. Può essere maggiore della distanza percorsa lungo la traiettoria.
- B. Può essere nullo anche se il corpo si è mosso.
- C. Indica sempre il punto finale della traiettoria.
- D. È un vettore con direzione opposta alla velocità istantanea.

3. La velocità media:

- A. È una grandezza scalare se consideriamo solo il modulo.
- B. Può essere negativa se il vettore spostamento è diretto verso l'origine.
- C. Dipende solo dalla velocità istantanea all'inizio del moto.
- D. È sempre perpendicolare allo spostamento su una traiettoria circolare.

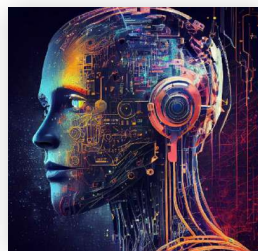


Mi piacciono molto le prime tre domande di questa figura. Per favore, puoi crearne altre 3 con la stessa struttura sugli stessi argomenti?

Costruzione di verifiche disciplinari

1. Costruzione di verifiche disciplinari

- Scrittura di esercizi che replicano un esempio dato
- Scrittura di esercizi che soddisfano alcuni requisiti e a partire da un'immagine
- Esportazione in word di esercizi fotografati da un testo



Continuando a esplorare le caratteristiche dei chatbot multimodali, molto interessante è anche la possibilità di permettere la creazione di compiti a partire da foto del testo. Riprendiamo gli esercizi già considerati in precedenza.

Esercizi di Fisica

1 Individua l'affermazione corretta.

- ☐ A Il vettore posizione non dipende dalla scelta dell'origine
- ☐ B Il vettore posizione è la differenza tra la posizione iniziale e quella finale
- ☐ C Il vettore spostamento va dall'origine al punto in cui è il corpo
- ☐ D Il vettore spostamento non dipende dalla scelta dell'origine

2 La velocità media:

- ☐ A è il rapporto tra la distanza percorsa e l'intervallo di tempo
- ☐ B è una grandezza scalare
- ☐ C dipende dalle posizioni iniziale e finale
- ☐ D è perpendicolare allo spostamento

3 La velocità istantanea:

- ☐ A è una grandezza vettoriale

☐ B è il rapporto tra la posizione e un intervallo di tempo molto breve

- ☐ C è normale alla traiettoria nel punto occupato dal corpo
- ☐ D è uguale allo spostamento in un intervallo molto breve

Vero o falso?

4 Lo spostamento:

- ☐ a può essere nullo
- ☐ b fornisce informazioni sulla traiettoria
- ☐ c nella definizione, $\Delta \vec{s} = \vec{s}_2 - \vec{s}_1$, $\vec{s}_1$ indica la posizione più vicina all'origine.

- | | |
|---|---|
| V | F |
| V | F |
| V | F |

5 Spostamento e velocità media hanno:

- ☐ a lo stesso modulo
- ☐ b la stessa direzione
- ☐ c lo stesso verso
- ☐ d la stessa unità di misura

- | | |
|---|---|
| V | F |
| V | F |
| V | F |
| V | F |

1. Individua l'affermazione corretta.

- A. Il vettore posizione non dipende dalla scelta dell'origine
- B. Il vettore posizione è la differenza tra la posizione iniziale e quella finale
- C. Il vettore spostamento va dall'origine al punto in cui è il corpo
- D. Il vettore spostamento non dipende dalla scelta dell'origine

2. La velocità media:

- A. è il rapporto tra la distanza percorsa e l'intervallo di tempo
- B. è una grandezza scalare
- C. dipende dalle posizioni iniziale e finale
- D. è perpendicolare allo spostamento

Creazione di verifiche disciplinari personalizzate

5. Creazione di verifiche disciplinari personalizzate

- Alunni con disturbi evolutivi specifici
- Studenti stranieri
- Studenti con diverse intelligenze e stili di apprendimento:



Creazione di verifiche disciplinari personalizzate

PREPARATI ALLA VERIFICA

- 1 Un escursionista percorre un sentiero che si snoda 5,0 km a est, 7,0 km a nord, 3,0 km a est e 4 km a sud. Rappresenta la situazione in uno schema e disegna lo spostamento totale. Qual è il modulo dello spostamento? Qual è la lunghezza del cammino percorso? Se l'escursionista completa l'intero percorso in 7,0 ore, qual è il modulo della sua velocità media?

[8,5 km; 19 km; 1,2 km/h]

- 2 Alice e Giada si tuffano una dopo l'altra da una piattaforma alta 10,0 m. Alice si lascia cadere da ferma, mentre Giada parte con velocità orizzontale di 3,00 m/s. Confronta i due moti calcolando il tempo di volo e la velocità (modulo e angolo che forma con l'orizzontale) immediatamente prima di entrare in acqua. Qual è la traiettoria di ognuna?

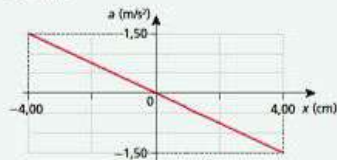
[1,43 s; 14 m/s; 90° ; 14,3 m/s; $77,9^\circ$]

- 3 Una pallina legata a una corda ruota uniformemente su una traiettoria circolare orizzontale di raggio 94 cm. Il modulo della sua accelerazione è $5,7 \text{ m/s}^2$. Determina:

- a il modulo della sua velocità;
- b la frequenza del moto.

- 4 In figura è illustrata la relazione tra l'accelerazione e lo spostamento dall'equilibrio di 250 g che è sospeso a una molla verticale e oscilla. Determina la pulsazione, il modulo della velocità massima.

[6,12 rad/s]



- 5 La lunghezza del filo di un pendolo è 3,4 m. Qual è il periodo? Se aumento la lunghezza del filo di 0,50 m, di quanto aumenta percentualmente il periodo?

[3,7 s; 7,1%]



Potresti semplificarmi la verifica che ti ho allegato, adattandola a un ragazzo che ha difficoltà con i passaggi consecutivi molto lunghi e complessi?

Creami un file word stampabile già opportunamente organizzato, con opportuni spazi bianchi, in alto, per i dati anagrafici. Il file deve contenere la descrizione adattata del problema e le domande, tutte o in parte, opportunamente ristrutturate. Mantieni la struttura dei problemi assegnati.

Creazione di verifiche disciplinari personalizzate

Verifica di Fisica

Nome e Cognome: _____

Classe: _____ Data: _____

Semplificazione della verifica di fisica. Rispondi alle seguenti domande:

Esercizio 1

Un'escursionista percorre un sentiero in diverse direzioni: 5,0 km a est, 7,0 km a nord, 3,0 km a est e 4 km a sud.

- Disegna lo schema dello spostamento.
- Qual è la lunghezza totale del cammino percorso?
- Quanto è lungo lo spostamento totale (la distanza tra inizio e fine)?
- Se l'escursionista impiega 7,0 ore, qual è la sua velocità media?

Spazio per il disegno: _____

Esercizio 2

Alice e Giada saltano da un'altezza di 10,0 m. Alice cade in modo libero, Giada parte con una velocità orizzontale di 3,0 m/s.

- Chi arriva prima in acqua?
- Quanto tempo impiegano a toccare l'acqua?

Esercizio 3

Una pallina è legata a una corda e gira in cerchio con un raggio di 94 cm. L'accelerazione è di 5,7 m/s².

- Qual è la velocità della pallina?
- Quante volte al secondo completa un giro (frequenza)?

Esercizio 4

Osserva il grafico sotto che rappresenta il moto di un corpo oscillante.

- Determina la velocità massima del corpo.
- Quanto tempo impiega a fare un'oscillazione completa (periodo)?

Esercizio 5

Un filo lungo 3,4 m oscilla liberamente.

- Qual è il periodo del moto?
- Se il filo viene allungato a 4,0 m, di quanto cambia il periodo?

Ogni esercizio è stato ristrutturato con domande più brevi e dirette, evitando di includere passaggi matematici lunghi o concetti troppo astratti, in modo da ridurre la complessità complessiva per lo studente.

Esercizio 3:

- Ho rimosso dettagli complessi riguardanti la traiettoria circolare e mi sono concentrato solo sul calcolo della velocità e della frequenza, semplificando la domanda.
- Le domande sono:
 - Calcola la velocità della pallina.
 - Calcola la frequenza del moto.





DEASCUOLA

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

Insegnare con... Sistema Fisica

*Dal laboratorio alle esplorazioni
con l'Intelligenza Artificiale*

Relatore:
Massimiliano Virdis



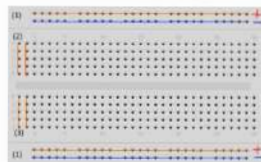
Scelte fondamentali

2.5 Breadboard

Nella pila o batteria reale la tensione effettiva *non* è quasi mai quella nominale, cioè quella indicata sulla pila, ma è un po' più alta se la pila è carica e un po' più bassa se la pila è scarica. Nell'immagine precedente la pila è evidentemente carica. La tensione indicata è negativa perché si è posto in contatto il terminale del potenziale più basso (quello nero) a contatto col polo positivo della pila e il terminale a potenziale più alto (quello rosso) con il polo negativo della pila: tutto questo non pone alcun problema di sicurezza.

2.5 Breadboard

Normalmente non si collegano dei dispositivi solo alla scheda Arduino e basta, ma si montano su una opportuna base di appoggio che consenta dei collegamenti elettrici stabili, ma rimovibili. L'oggetto che svolge questa funzione è la breadboard, che è una struttura in plastica con centinaia di fori interconnessi elettricamente. Analizziamo l'esempio qui proposto.



Abbiamo innanzitutto due righe di fori nella parte superiore ed inferiore (1). In molte breadboard di questo tipo su queste due coppie di righe è serigrafato un più e un meno: è un suggerimento per usare queste righe come linea comune per il polo positivo e negativo dell'alimentazione. I fori all'interno di ogni riga sono interconnessi; le righe sono isolate tra loro (2). La resistenza di isolamento tra i pin è elevata, ma comunque dell'ordine dei 10 megohm e non infinita.

Nella parte centrale abbiamo dieci righe indicate con lettere e 32 colonne indicate con numeri. In questo caso sono in comune i fori delle colonne in gruppi di cinque: cinque nelle righe più in alto (2) e cinque in quelle più in basso (3). Le colonne sono isolate tra loro.

2

Prima esperienza con Arduino

2.6 Misuriamo la ddp tra GND e 5V con un multimetro

Dopo aver misurato la d.d.p. fornita da una pila o batteria vogliamo misurare quella fornita da una scheda Arduino Uno. I terminali di Arduino da cui prelevare questa differenza di potenziale sono quelli indicati dalla serigrafia con GND per il pin formalmente a potenziale nullo e 5V per quello formalmente a 5V. In alternativa c'è anche un pin a 3.3V indicato con 3.3V, che per ora non ci interessa. La d.d.p. nominale tra il pin GND e il pin dei 5V è appunto 5V, ma quella effettiva è solitamente leggermente minore.

Come rappresentato nell'immagine seguente creiamo un nuovo progetto di circuito, che chiameremo "Progetto 3". Nel nuovo progetto inseriamo una scheda Arduino Uno e un multimetro; colleghiamo i terminali del multimetro e i due pin di Arduino prima indicati allo stesso modo fatto per la pila.



La scheda Arduino viene alimentata a sua volta da un cavo USB collegato al computer, attraverso quel cavo passa anche la comunicazione tra Arduino e il computer. Nella figura precedente vediamo un connettore USB nero accanto alla scheda sulla sinistra.

Avviata la simulazione il connettore apparirà inserito in Arduino e sul multimetro comparirà l'indicazione di 5,00V.

2.6.1 L'esperienza reale

Mentre l'esperienza con Tinkercad è altrettanto semplice quanto quella appena vista con la pila, invece l'esperienza reale pone una serie di attenzioni particolari per il collegamento. Il problema è come collegare i terminali del multimetro al pin di Arduino, cosa non possibile direttamente perché le punte dei terminali sono troppo grandi per essere inserite nei pin.

Per cui utilizzeremo due cavi spellati, due cavi maschio-maschio Dupont e una breadboard.

- Per poter collegare i terminali a dei pin avvolgiamo l'estremità di un cavo spellato alla punta del terminale del multimetro, come mostrato nell'immagine seguente. L'altra estremità potrebbe essere inserita direttamente nel pin di Arduino. Tuttavia Evitiamo sempre di inserire direttamente dei cavi nei pin della scheda, perché potrebbero spezzarsi e rimanere definitivamente incastrati nel pin, rendendolo inutilizzabile insieme a tutta la scheda. Piuttosto inseriremo l'altra estremità del cavo spellato nella breadboard.

2

Prima esperienza con Arduino

- Perché Arduino?
- Quale linguaggio per la programmazione? Perché C/C++?
- Introduzione con Tinkercad

Struttura delle esperienze

Le esperienze sono divise in **tre parti**:

1) Esperimento di fisica

(descrizione e procedimento)

4

Studio del moto di un pendolo

4

Studio del moto di un pendolo

4.1 Il pendolo

Il pendolo semplice è costituito da un grave, idealmente puntiforme, appeso ad un filo di massa trascurabile e inestensibile. Il filo è appeso ad un vincolo fisso ed è libero di muoversi su di esso senza attrito. Il corpo deve essere piccolo rispetto alla lunghezza del filo, altrimenti le forze che agiscono su di esso non sarebbero assimilabili a quelle che agiscono su un corpo puntiforme. Il filo deve essere di massa trascurabile, altrimenti dovremmo considerare anche la forza peso che agisce su ogni suo elemento; deve essere anche inestensibile in modo da avere una traiettoria su un arco di circonferenza. In queste condizioni ideali il grave è soggetto a due forze: il peso e la forza vincolare (tensione) esercitata dal filo che lo sostiene.

4.1.1 Isocronismo del pendolo

Se l'angolo di oscillazione è sufficientemente piccolo il periodo di oscillazione può essere ottenuto dalla relazione:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (4.1)$$

Cosa significa sufficientemente piccolo? Tutto dipende da quale accuratezza vogliamo raggiungere con le nostre misure. Se vogliamo che la formula non dia un risultato che si discosti da quello reale per più del 1% allora l'angolo di oscillazione deve essere inferiore a 23° ; se vogliamo un errore inferiore a 0,1% allora l'angolo di oscillazione deve essere inferiore a 7° ; più piccolo l'angolo inferiore l'errore. Se vale la relazione precedente, questo periodo non dipende dall'angolo di oscillazione e quindi è costante. Si parla di conseguenza di *isocronismo* del pendolo.

La soluzione esatta del modello del pendolo semplice ci porta alla seguente espressione per il periodo:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g} \left[1 + \frac{1}{4} \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \dots \right]} \quad (4.2)$$

In questo modello il periodo è dipendente dall'angolo di oscillazione α , ma le differenze con il modello semplificato sono difficilmente osservabili a meno di misurare il periodo di oscillazione con grande accuratezza o con ampie oscillazioni.

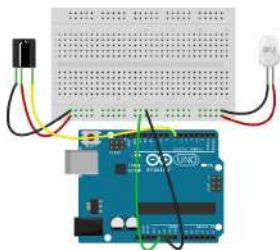
4.1.2 Misura dell'accelerazione di gravità

Il periodo di oscillazione è legato all'accelerazione di gravità; conoscendo la lunghezza l del filo e misurando il periodo di oscillazione possiamo ricavare l'accelerazione di gravità. Se ricaviamo il periodo così come indicato in regime di piccola oscillazione, cioè quando la nota formula per il periodo è più corrispondente ai dati reali, e misuriamo la lunghezza del pendolo, possiamo ricavare l'accelerazione di gravità corrispondente.

Struttura delle esperienze

4.11 Montaggio delle apparecchiature

4.11 Montaggio delle apparecchiature



Lo schema precedente mostra i collegamenti del sensore. Abbiamo sulla destra il led che emette il fascio di infrarossi con due fili per l'alimentazione. Sulla sinistra il fotodiodo, anch'esso con due fili per l'alimentazione, che condividiamo con il led, ed un filo da collegare ad un pin digitale in ingresso, nel quale mandare il segnale di presenza di un oggetto tra il fascio.

In condizioni operative normali dal sensore esce un segnale HIGH; quando il traguardo viene interrotto esce un segnale LOW. In questa seconda condizione il pin si troverebbe in uno stato flottante; per impedire questo ultimo stato possiamo inserire una resistenza di pullup nella linea. Questo è quello che facciamo nel codice con l'istruzione alla riga 11.

Per quanto riguarda il montaggio del sensore su un supporto rimandiamo al capitolo sull'esperienza del pendolo.

4.12 Codice per Arduino

Il codice qui presente permette di determinare il periodo di oscillazione del pendolo. La logica di funzionamento può essere descritta da quattro passi.

1. Nel passo uno il pendolo è già passato una prima volta davanti al sensore, a conclusione di una precedente oscillazione. La variabile contatore valeva quattro. Ora il pendolo non intercetta più il fascio e il segnale è alto. La variabile contatore viene posta a uno.
2. Nel passo due il pendolo intercetta per la seconda volta il fascio di infrarossi; abbiamo fatto mezza oscillazione. Il sensore segna un valore basso. La variabile contatore valeva uno e viene posta a due.
3. Nel passo tre il pendolo per la seconda volta non intercetta più il fascio e il segnale è alto. La variabile contatore valeva due e viene posta a tre.
4. Nel passo quattro il pendolo intercetta per la seconda volta il fascio di infrarossi; abbiamo fatto un'oscillazione completa. Il sensore segna un valore basso. Misuriamo nuovamente il tempo: la differenza con il tempo iniziale è il periodo. La variabile contatore valeva tre e viene posta a quattro.

34

4.12 Codice per Arduino

Nel primo passaggio, appena Arduino è avviato, il periodo non è valutato correttamente. Nei successivi passaggi il tempo finale di una oscillazione diventa il tempo iniziale della successiva. Quindi, dei tre passaggi per una oscillazione completa, il terzo è in comune con l'oscillazione successiva.

```
1 //Misura del periodo di un pendolo con un IR break beam
2 const int sensorPin = 7;
3 int contatore = 4;
4 int misura = 0;
5 unsigned long tempo_iniziale = 0;
6 unsigned long tempo_finale = 0;
7 boolean sensorVal;

9 void setup()
10 {
11   pinMode(sensorPin, INPUT);
12   digitalWrite(sensorPin, HIGH);
13   Serial.begin (115200);
14 }

15 void loop()
16 {
17   sensorVal = digitalRead(sensorPin);
18   // passo 1
19   if (sensorVal == HIGH && contatore == 4){
20     contatore = 1;
21   }
22   // passo 2
23   if (sensorVal == LOW && contatore == 1){
24     contatore = 2;
25   }
26   // passo 3
27   if (sensorVal == HIGH && contatore == 2){
28     contatore = 3;
29   }
30   // passo 4
31   if (sensorVal == LOW && contatore == 3){
32     tempo_finale = micros();
33     Serial.print (misura);
34     Serial.print ("...Periodo,oscillazione...");
35     Serial.print ((tempo_finale-tempo_iniziale)/1000.0,2);
36     Serial.println ("...millisecondi");
37     //
38     tempo_iniziale = tempo_finale ;
39     contatore = 4;
40     misura = misura + 1;
41   }
42 }
```

- riga 2: stiamo collegando il cavo bianco del segnale del sensore al pin 7.
- riga 3: la variabile contatore vale 4 se il pendolo è passato una prima volta sul sensore.
- righe 4 - 7: dichiarazione di altre variabili.
- riga 11: il pin del sensore è in modalità input.

35

2) Allestimento e programmazione con Arduino (codice per Arduino, collegamenti)

Studio del moto di un pendolo

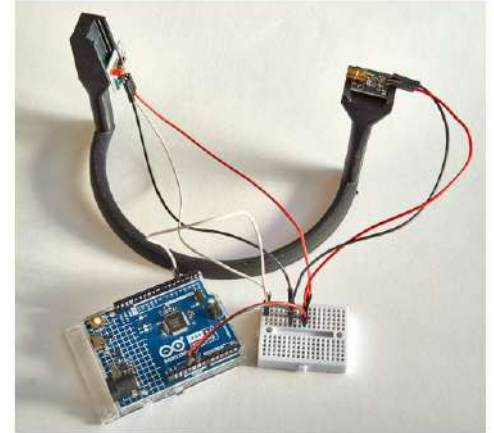
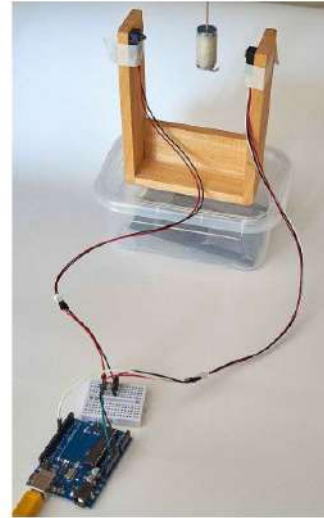
Allestimento (foto di varie configurazioni)



(a)



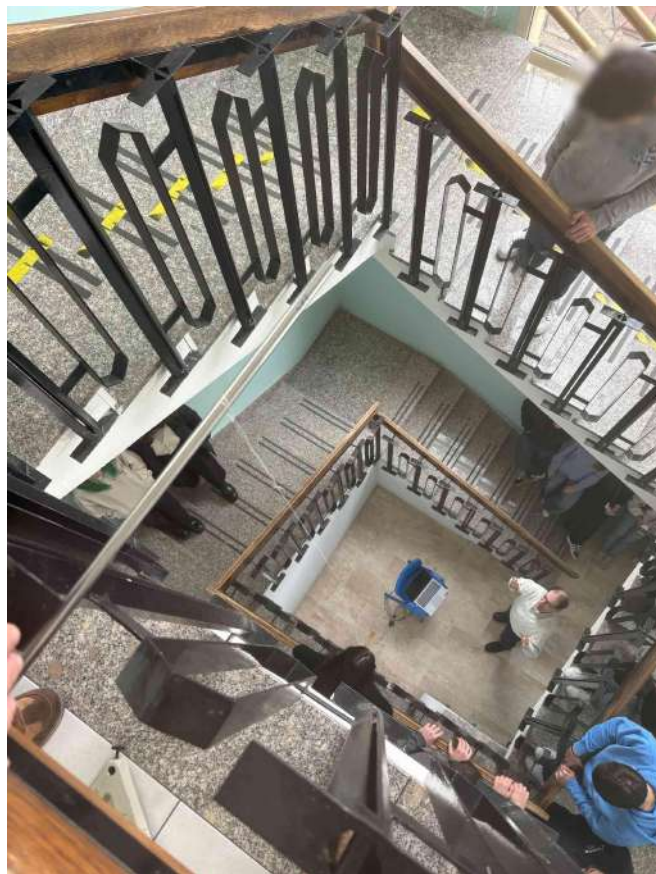
(b)



3) Risultati sperimentali

	Periodo iniziale (s)	Periodo finale (s)
1	2,9606	2,9510
2	2,9603	2,9510
3	2,9604	2,9510
4	2,9599	2,9510
5	2,9594	2,9510

$$g_s = (9,79 \pm 0,03) \text{ m/s}^2$$



Ricadute didattiche e problemi

- 1) Entusiasmo dell'insegnante
- 2) Uso e conoscenza di alcuni sensori di ampia diffusione (sensori di parcheggio, fotosensore porte ascensore, sensori di prossimità, sfigmomanometri)
- 3) Entusiasmo e interesse degli studenti
- 4) Programmare, ma non troppo. Legge di Murphy



DEASCUOLA

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

Spazio alle domande

I prossimi appuntamenti

<https://formazione.deascuola.it/insegnare-matematica-e-fisica/>

Webinar

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

**Insegnare con... Tutti i colori
della Matematica edizione
Blu**

24 Marzo 2025, 15:00

con: Leonardo Sasso



Webinar

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

**Insegnare con...Tutti i colori
della Matematica edizione
Azzurra e Azzurra Smart**

27 Marzo 2025, 15:00

con: Leonardo Sasso



Webinar

INSEGNARE MATEMATICA E FISICA

**Esame di Stato: la seconda
prova di Matematica per il
liceo scientifico**

15 Aprile 2025, 15:00

con: Leonardo Sasso



Scopri «Sistema fisica»

Consulta la **scheda sul sito:**

[Sistema fisica - Biennio](#)
[Sistema fisica - Triennio](#)

Richiedi **copia digitale:**

[Sistema fisica - Biennio](#)
[Sistema fisica - Triennio](#)

